

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Geschäftsführender Direktor: Professor Dr. W. Schuster

Vergleichende Untersuchungen über die optimale Gestaltung des Wasserhaushaltes im Ackerbau

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich „Angewandte Biologie“

der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Dipl. Ing. agr. Miremaddlin Bozorgzadeh
aus Babal/Iran

Gießen 1974

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Geschäftsführender Direktor: Professor Dr. W. Schuster

Vergleichende Untersuchungen über die optimale Gestaltung des Wasserhaushaltes im Ackerbau

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich „Angewandte Biologie“

der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Dipl. Ing. agr. Miremaddlin Bozorgzadeh
aus Babal/Iran

Gießen 1974



Dekan:

Prof. Dr. W. Jahn-Deesbach

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h. c. E. von Boguslawski

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h. c. H. Linser

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Dezember 1974

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

I.	Das Problem der künstlichen Beregnung unter Berücksichtigung des Wasserhaushaltes von Boden und Pflanze	1
II.	Methoden zur Bestimmung des Wasserhaushaltes des Bodens und der Pflanze	6
1.	Die Methode des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung zur Feststellung des optimalen Zeitpunktes der Beregnung (E. v. BOGUSLAWSKI)	6
1.1.	Die Feldkapazität und ihre Bestimmung	6
1.2.	Der Welkepunkt und seine Bestimmung	7
1.3.	Die nutzbare Feldkapazität und ihre Errechnung	8
2.	Die Methode nach PFAU	9
3.	Die automatisch gesteuerte klimatisierende Beregnung nach SEEMANN	9
4.	Das Irrometer (Firma PERROT)	10
5.	Die Saugspannung des Blattes nach SCHARDAKOV	11
6.	Die Indipa-Methode zur Bestimmung des Öffnungszustandes der Stomata	12
III.	Standort und Versuchsanlage 1972 und 1973	14
IV.	Witterung	16
V.	Feldversuche mit Zuckerrüben während der Vegetationsperiode 1972	22
1.	Versuchsvarianten	22
2.	Der Wasserhaushalt des Bodens	22
2.1.	Die Wasserhaushaltskennwerte	22
2.2.	Die Bodenfeuchtigkeit	22
2.3.	Der Wasserverbrauch des Rübenbestandes	29

3.	Der Wasserhaushalt der Pflanze	35
3.1.	Die Saugspannung des Blattes	35
3.2.	Der Öffnungszustand der Stomata (Indipa-Methode)	37
VI.	Feldversuche mit Zuckerrüben während der Vegetationsperiode 1973	38
1.	Versuchsvarianten	38
2.	Der Wasserhaushalt des Bodens	38
2.1.	Die Wasserhaushaltskennwerte	38
2.2.	Die Bodenfeuchtigkeit	39
2.3.	Der Wasserverbrauch des Rübenbestandes	51
3.	Der Wasserhaushalt der Pflanzen	57
3.1.	Die Saugspannung des Blattes	57
3.2.	Der Öffnungszustand der Stomata (Indipa-Methode)	60
VII.	Die Erträge der Versuchsjahre 1972 und 1973	63
1.	Die Erträge des Versuchsjahres 1972	63
2.	Die Erträge des Versuchsjahres 1973	68
3.	Zuckergehalt, Zuckererträge und schädlicher Stickstoff	73
VIII.	Diskussion	76
IX.	Zusammenfassung	82
X.	Literaturverzeichnis	84
XI.	Tabellen-Anhang	94

I. DAS PROBLEM DER KÜNSTLICHEN BERECHNUNG UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DES WASSERHAUSHALTES VON BODEN UND PFLANZE

Jedem von uns und besonders dem Landwirt ist bekannt, welchen bedeutenden Einfluß der Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode auf die Menge und Qualität des Ernteertrages hat. Zum Beispiel können Spätfröste im Frühjahr, heftige Niederschläge oder länger anhaltende Trockenperioden im Sommer negativ auf den Pflanzenertrag wirken. Neben dem Licht und der Temperatur stellt das Wasser eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Leben der Pflanzen und somit für das Leben von Tier und Mensch dar (H. LUNDEGARDH 1949).

An der Temperatur und den Niederschlägen eines Standortes ist nichts zu ändern; deshalb zeigt die Historie, daß die große Bedeutung des Wassers für das Pflanzenwachstum schon sehr früh von den Menschen erkannt worden ist. Noch heute erhaltene Bewässerungsanlagen des Altertums, vor allem in Gebieten arider und semiarider Klimate, beweisen, daß schon in den jüngsten Anfängen des Ackerbaues eine Lenkung und Steuerung des so wichtigen Faktors Wasser angestrebt worden ist. So wurden in Persien unterirdische Kanäle (Ghanate) gegraben, um aus wasserführenden Bodenschichten Wasser für die Felder und den Huasbedarf zu gewinnen.

Während in den trockenen Gebieten der Erde erst durch die künstliche Bewässerung die agrarische Produktion ermöglicht werden kann, hat die Feldberechnung in gemäßigttem Klima mehr eine ergänzende und ausgleichende Funktion der erheblichen Schwankungen, denen die Kulturpflanzen und die Pflanzen überhaupt in der Wasserversorgung ausgesetzt sind.

Erst Ende des 19. Jahrhunderts ist hier mit dem Bau von Bewässerungsanlage begonnen worden. Durch den raschen Anstieg der Bevölkerung Westeuropas und die daraus resultierende Forderung nach einer höheren und sicheren Produktivität in der Landwirtschaft ist die Frage nach einer künstlichen Bewässerung zu den verschiedensten Kulturpflanzen immer dringlicher geworden, um den steigenden Lebensmittelbedarf der Bevöl-

kerung decken zu können (M.EYTH, s. BROUWER 1927). Gegen Ende der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist von ROEMER (1949) die Feststellung gemacht worden, daß in den kommenden 50 Jahren die deutsche Landwirtschaft unter dem Zeichen der künstlichen Bewässerung stehen werde.

Natürlich ist die Handhabung der Bewässerung in den gemäßigten Klimagebieten weitaus komplizierter als in den oben angeführten Klimaten. Obwohl unter gemäßigten klimatischen Verhältnissen in Deutschland die Niederschlagsmengen für einen effektiven Pflanzenbau im allgemeinen ausreichend sind, können dennoch Trockenperioden in den Sommermonaten auftreten, in denen das Wasserangebot für den geforderten Pflanzenertrag zu gering ist. Auf diesen Tatbestand hat schon WOLLNY im Jahre 1895 hingewiesen, indem er schrieb: "Die Bewässerung erscheint in allen Fällen geboten, wo die durch die Niederschläge dem Boden zugeführten Wassermengen zur Erzielung von Maximalerträgen sich unzureichend erweisen" (zit. n. ATANASIU 1948).

Aufgrund dieses Erkenntnis beschäftigt sich die Wissenschaft schon seit langem mit dem Problem, geeignete, möglichst objektive Richtlinien für eine effektiv gesteuerte künstliche Wasserversorgung der Kulturpflanzen zu finden. Dabei stehen folgende zwei Ziele im Vordergrund:

1. Planungsunterlagen für Beregnungsanlagen zu schaffen und
2. genaue Kenntnisse sowohl über den zu erwartenden Mehrertrag, den geeigneten Beregnungszeitpunkt als auch über die benötigte Wassermenge zu gewinnen.

Im Laufe der Zeit ist deshalb versucht worden, den Zeitpunkt der Beregnung und die Menge der künstlichen Regengaben mit Hilfe der verschiedensten Methoden optimal zu bestimmen. In den Anfängen der Erforschung der Beregnungseffektivität hat man zunächst das Augenmerk auf die klimatischen Verhältnisse gelenkt, da der Einfluß des Klimas auf den Boden und die Pflanze durch die Niederschläge, durch das Licht sowie durch die Wärme bzw. die Strahlungsenergie der Sonne bestimmt wird (MITSCHERLICH 1954). Daraufhin haben die beiden Forscher, KRÜGER und ZUNKER, den Vorschlag gemacht, die Beregnungsbedürftigkeit eines Standortes

aufgrund seiner Dürrehäufigkeit, die sie aufgrund langjähriger Untersuchungen über die natürliche Niederschlagsverteilung ermittelten, zu bestimmen (BROUWER 1927).

Die Beregnungsbedürftigkeit verschiedener Pflanzen ist auch vielfach unter Berücksichtigung des Niederschlages (N) und der gemessenen Verdunstung (V) ermittelt worden. Hierzu hat KUHNKE (1948) die "klimatische Wasserbilanz" aufgestellt, indem er die Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung bildete. Demgegenüber haben ATANASIU und KRUSE (1957) die differenzierte bzw. teildifferenzierte klimatische Wasserbilanz eingeführt und haben diese in Pentadenwerte eingeteilt. Dabei erfolgt der Einsatz der Beregnung aufgrund der negativen Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung.

In Bezug auf die beiden Faktoren Niederschlag (N) und Verdunstung (V) hat v. BOGUSLAWSKI (1937) den Begriff des $\frac{N}{V}$ -Quotienten eingeführt, als ein guter Maßstab zur Erkennung der Relation zwischen dem Niederschlag und der Verdunstung.

Die alleinige Berücksichtigung dieser klimatischen Daten reichen jedoch nicht für die Bestimmung eines optimalen Beregnungseinsatzes aus. Es hat deshalb nicht an Untersuchungen gefehlt, die den Wasserhaushalt des Bodens als Indiz für die Beregnung benutzten. Da durch die Evapotranspiration und die Transpiration ständig Wasser an die Atmosphäre entweicht, und diese von der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Sonneneinstrahlung und der Windstärke abhängen, sind Formeln zur Berechnung der Evapotranspiration entwickelt worden (H. WALTER, K. KREBB 1964). Diese geben die Möglichkeit, Veränderungen im Wasserzustand des Bodens und der Pflanze unter Einbeziehung des natürlichen Niederschlages zu berechnen. In diesem Zusammenhang ist KOPETZ (1957) der Meinung, daß eine Beregnung bei "Konstanthaltung" der Wasser- und Nährstoffdarbietung an die Pflanze am effektivsten sei. Im Hinblick darauf führte er Versuche mit Kartoffeln durch, wobei der Wasserfaktor bei 25 %, 50 % und 75 % der maximalen Wasserkapazität konstant gehalten wurde. Höchsterträge wurden bei allen Versuchen bei 50 % erreicht.

Die Beurteilung des Wasserhaushaltes in der Pflanze allein im Hinblick auf die Bodenfeuchte und die klimatischen Bedingungen reicht jedoch nicht aus, um die Wasserverhältnisse in der Pflanze wiederzuspiegeln bzw. sich mit diesen Faktoren auseinanderzusetzen. Es hängt von der Pflanze selbst ab, wie sie sich in das Verhältnis zwischen Atmosphäre und Boden einfügt. Schon WALTER (1931) hat darauf hingewiesen, daß nicht das pflanzenverfügbare Wasser, sondern der Wasserhaushalt der Pflanze für die Beregnung wichtig ist. Die eigentlichen Größen zur Messung des Pflanzenwasserhaushaltes, oder nach WALTER Hydratur genannt, sind der osmotische Wert und die Saugspannung. Insbesondere ist auf die Bedeutung des osmotischen Wertes als Indiz für den Wasserhaushalt in der Pflanze hingewiesen worden (BAUMAN 1955, 1957; BIRKE 1965; BOCKSCH 1972; BOLAND 1971; KNODEL 1938; KREEB 1955, 1958, 1964, 1970; LOBOV 1951; MAYR 1955; SAFAR 1968; STIEGLITZ 1936; STOCKER 1954, 1960, 1967; WALTER 1931, 1956, 1965, 1967, 1970).

Dabei darf jedoch nicht außer acht gelassen werden, daß die Hydratur der Pflanze nicht nur von den Boden- und Wasserverhältnissen, sondern auch von der Nährstoffversorgung abhängt (M. STEINER 1959).

Die Saugspannung als Maßstab für die Bewässerung ist erst durch SCHARDAKOV (1948) eingeführt worden, der durch die Bestimmung der Saugspannung des Blattes die Beregnungsbedürftigkeit der Baumwolle feststellte.

Wie sich aus den bisherigen Ausführungen ergibt, kann der Zeitpunkt der Beregnung auf dreierlei Art und Weise bestimmt werden, und zwar

1. über den Wasserhaushalt des Bodens,
2. über den Wasserhaushalt in der Pflanze und
3. über die klimatischen Faktoren.

Das Forschungsvorhaben zu dem Thema "Vergleichende Untersuchungen über die optimale Gestaltung des Wasserhaushaltes im Ackerbau" wurde im Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Justus Liebig-Universität Gießen durchgeführt. Bisher sind dazu die Dissertationen von

H.FINGER 1960, S.SCHAHIDINEJAD 1963, B.ABUSAIDI 1968, D.KHAVIDI 1968, H.SAFAR 1968, O.ÖZGÖR 1969, R.BOLAND 1971, R.BOCKSCH 1972 und R.TAHERI-AMLASCHI 1972 erschienen.

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, die während der letzten Jahre entwickelten Methoden zur Bestimmung des optimalen Zeitpunktes und der optimalen Gabe der Beregnung zu vergleichen. Dabei werden folgende Methoden in den Vordergrund gestellt:

1. Die Methode des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (Prof. E.v. BOGUSLAWSKI),
2. Die Methode des Zentralamtes des deutschen Wetterdienstes (Prof. PFAU),
3. Die automatisch gesteuerte klimatisierende Beregnung (Prof. SEEMANN),
4. Das Irrrometer (Firma PERROT),
5. Die Saugspannung des Blattes (SCHARDAKOV),
6. Der Öffnungszustand der Stomata (Indipa-Methode).

II. METHODEN ZUR BESTIMMUNG DES WASSERHAUSHALTES DES BODENS UND DER PFLANZE

1. Die Methode des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung zur Feststellung des optimalen Zeitpunktes der Beregnung (E. v. BOGUSLAWSKI)

Die vom Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung entwickelte Beregnungsmethode baut auf den Ergebnissen mehrjähriger Versuche auf. Sie besteht darin, bei Erreichen einer Feuchtigkeitsgrenze von 50 bzw. 60 % der nutzbaren Feldkapazität die oberen 40 cm des Bodens durch Beregnung auf die volle Feldkapazität aufzufüllen.

Die Anwendung der Methode setzt die vorherige Bestimmung der Feldkapazität (FK) und des Welkepunktes (WP) und des daraus abzuleitenden pflanzenphysiologisch nutzbaren Wassers der verschiedenen Bodenschichten voraus.

1.1. Die Feldkapazität und ihre Bestimmung

Die Feldkapazität ist diejenige maximale Wassermenge, die ein Boden entgegen der Einwirkung der Schwerkraft festzuhalten vermag.

Das Wasserhaltevermögen (FK) eines Bodens kann unter mitteleuropäischen Verhältnissen im zeitigen Frühjahr, nach dem Auftauen, mit Hilfe von Stechzylindern festgestellt werden. Voraussetzung muß dabei sein, daß der Boden mit Wasser voll gesättigt war. Falls dies, wie in den beiden Versuchsjahren 1972 und 1973, nicht der Fall ist, muß der Boden künstlich mit Wasser durchfeuchtet werden. Zu diesem Zweck wird auf dem Versuchsschlag mittels Bodenkartierung ein repräsentatives Areal von $2 \times 6 \text{ m}^2$ ($= 12 \text{ m}^2$) Größe ausgewählt. Die Fläche wird von Unkraut befreit, mit Wasser bis zur maximalen Kapazität gesättigt und anschließend zur Verhinderung der Verdunstung und zur Abschirmung gegen Niederschläge abgedeckt.

Der Ablauf des Sickerwassers wird durch regelmäßige Wassergehalts-

bestimmungen auf der ersten Hälfte des oben angegebenen Areal festge-
stellt. Dazu werden aus der Meßfläche mit einem Bohrstock Bodenproben
bis 80 cm Tiefe entnommen. Die Bodenproben werden in dicht verschlos-
senen Kunststoffbeuteln ins Labor gebracht. Für jede 10 cm Bodenschicht
werden zweimal 100 g eingewogen, anschließend im Trockenschrank bei
105° C mindestens 6 Stunden lang getrocknet und ausgewogen. Aus der
Gewichtsdifferenz ergibt sich der Wassergehalt des Bodens in Gewichts-
prozenten (Gew %) nach folgender Formel:

$$\text{Gew \% - Wasser} = \frac{\text{Wasserverlust} \times 100}{\text{Gewicht des trockenen Bodens}}$$

Diese Bestimmungen werden so lange durchgeführt, bis das überschüssige
Gravitationswasser in tiefere Schichten versickert ist und konstante Werte
festgestellt werden. In diesem Zustand werden Stechzylinderproben aus
jeder 10 cm Bodenschicht bis auf eine Tiefe von 80 cm in 8 Parallelen
entnommen. Bei jeder einzelnen Schicht werden die Proben genau aus
dem mittleren Teil entnommen, d.h. es werden oben und unten 2,5 cm
der jeweiligen Schicht weggelassen. Die Gewichtsdifferenz zwischen Ein-
und Auswaage stellt den der Feldkapazität entsprechenden Wassergehalt
in Vol% dar (bei 100 cm³ Stechzylindern: 1 g Wasser = 1 cm³ = 1 Vol%),
d.h. mm Wasser je 10 cm Bodenschicht. Außerdem wird mit densel-
ben Stechzylinderproben das Trockenraumgewicht, d.h. das spezifische
Gewicht des trockenen, natürlich gelagerten Bodens bestimmt

(= $\frac{\text{Gewicht des trockenen Bodens}}{100}$). Die Trockenraumgewichte der einzel-
nen Bodenschichten sind erforderlich, um die mittels Bohrstockproben
in Gewichtsprozenten ermittelten Feuchtigkeitsgehalte in Volumenprozent
und damit in mm umzurechnen.

1.2. Der Welkepunkt und seine Bestimmung

Der Welkepunkt (WP) ist der untere Grenzwert für das pflanzenverfügbare
Bodenwasser. Für das pflanzenphysiologisch nicht nutzbare Wasser ist

von MITSCHERLICH im Jahre 1916 der Begriff "totes Bodenwasser" eingeführt worden. Das "tote Bodenwasser" stellt die Wassermenge dar, die beim permanenten Welkepunkt (vgl. WEIHMAYER, F.F. und A.A. HENDERSON) noch im Boden vorhanden ist und enthält neben dem hygroskopischen Wasser (n. MITSCHERLICH 1916) auch einen Teil des Kapillarwassers. Sie beträgt etwa das 1,5- bis 2,0fache der Hygroskopität. Nach E. v. BOGUSLAWSKI und RIETZEL (1959) kommen die Pflanzen bei diesem Wassergehalt nicht zur Entfaltung ihrer generativen Phase.

Zur Bestimmung des Welkepunktes wurde der von der Soil Moisture Equipment Company (Santa Barbara/Kalifornien) entwickelte Druckplattenapparat benutzt. Zunächst müssen die verschiedenen 10 cm tiefen Bodenschichten 24 Stunden lang mit Wasser gesättigt werden. Anschließend wird ihnen mit einem Druck von 15 Atm wieder Wasser entzogen, und die entwässerten Schichten werden eingewogen. Nach Abschluß des Trockenvorganges werden die Proben ausgewogen und nach der vorher genannten Formel berechnet.

1.3. Die nutzbare Feldkapazität und ihre Errechnung

Als nutzbare Feldkapazität (nFK) wird das Speichungsvermögen des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser bezeichnet. Sie ist von den beiden Komponenten Feldkapazität und Welkepunkt abhängig. Aus der Differenz von Feldkapazität und Welkepunkt errechnet sich die nutzbare Feldkapazität:

Die nutzbare Feldkapazität = Feldkapazität - Permanenter Welkepunkt

Wird dem Boden mittels der Beregnung oder Berieselung Wasser zugeführt, muß beachtet werden, daß die Feldkapazität nicht überschritten wird. Wenn dem Boden zu viel Wasser zugeführt wird, erfolgt eine Ein- bzw. Auswaschung der im Bodenwasser gelösten Stoffe.

2. Die Methode nach PFAU

Bei der Methode nach PFAU werden die Größen aktuelle und potentielle Evapotranspiration zugrunde gelegt (vgl. Meteorologische Rundschau, Heft 2, März/April 1966). Zur Errechnung der erforderlichen Wasserzufuhr werden zweimal pro Woche Bodenproben entnommen und der Wassergehalt festgestellt. Die Werte wurden dem Wetteramt Offenbach mitgeteilt, welches nach Errechnung des Wasserbedarfs die erforderliche Regenmenge telefonisch mitteilte. Entsprechend standen diese Werte auch den Beregnungsbetrieben des benachbarten Beregnungsringes Dornheim zur Verfügung.

3. Die automatisch gesteuerte klimatisierende Beregnung nach SEEMANN

Zum Vergleich der benutzten Methoden wurde die automatische Methode nach SEEMANN eingesetzt. Diese automatisch gesteuerte Methode besteht in der Benetzung der Pflanzen, um eine Klimatisierung des Pflanzenbestandes während der Sommermonate zu erreichen. Nach SEEMANN liegt der Methode die Auffassung zugrunde, daß durch die Welke sowohl die Transpiration als auch die Assimilation eingeschränkt werden. Durch die Benetzung entsteht Verdunstungskälte, die CO_2 -Assimilation wird nicht eingeschränkt, und die sonst negativen Folgeerscheinungen durch Minderung der Transpiration entfallen.

Um einen höchstmöglichen Effekt zu erreichen, muß diese Beregnung automatisch gesteuert werden. Strahlungsenergie, Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und Benetzungsdauer sind die Faktoren für eine wirkungsvolle Steuerung. Durch Hintereinanderschaltung eines Kontaktthermometers, eines Haarhygrometers, eines Benetzungsschalters und einer Zeituhr wird ein Steuersystem benutzt. Beim Überschreiten der Luftfeuchtigkeit findet eine Beregnung statt, die nach Erreichen der Grenzwerte automatisch wieder ausgeschaltet wird.

4. Das Irrometer (Firma PERROT)

Bei der Irrometer-Methode, die in den USA (Kalifornien) entwickelt worden ist, wird der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens nach dem Prinzip des Tensiometers gemessen.

Die Irrometer können bei jeder Bewässerungsmethode benutzt werden, sei es bei der Furchenbewässerung ebenso wie bei der Beregnung. Das Instrument besteht, ähnlich dem Tensiometer, aus einer Plastikröhre, in der sich Wasser befindet. An ihrem unteren Ende geht die Röhre in eine für Feuchtigkeit hoch empfindliche poröse Keramikspitze über. Am oberen Ende der Plastikröhre befindet sich das Anzeigergerät.

Bei der Installation der Geräte kommt es darauf an, daß die Standorte sorgfältig ausgewählt werden. Die Irrometer werden jeweils in unterschiedlichen Bodentiefen, d. h. möglichst im Bereich der Wurzelzone der Pflanzen, angebracht. Je nach der Bodenbeschaffenheit ist es notwendig, daß vor dem Installieren ein Loch im Durchmesser der Irrometerröhre gebohrt wird. Um ein Ansammeln von Luft unterhalb der Keramikspitze, die ungenaue Werte verursachen würde, zu vermeiden, muß beim Anbringen des Irrometers ein guter Kontakt zwischen dem Gerät und der Bodensubstanz hergestellt werden. Falls sich dennoch Luft unterhalb der Röhre angesammelt haben sollte, muß diese nach dem Füllen mit Wasser entfernt werden.

Nach sachgerechter Installation der Instrumente beginnen sie schon nach kürzester Zeit, genaue Daten über den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens anzuzeigen, die in den sogenannten Irrometerdiagrammen eingetragen werden.

Nun stellt sich die Frage nach dem Bewässerungszeitpunkt. Es ist unmöglich, für alle Kulturpflanzen, Bodenarten, klimatischen Bedingungen und Bewässerungsmethoden den genauen Zeitpunkt einer Bewässerungsmethode anzugeben. Wenn die Irrometermethode zum ersten Male angewendet wird, wird der Richtwert für den Zeitpunkt einer Bewässerung für die meisten Kulturpflanzen mit 0,4 - 0,5 Atmosphäre angegeben.

Die Anzeigehur des Gerätes ist von 0 - 100 eingeteilt; die Einteilungen stellen jeweils Hundertstel einer Atmosphäre dar. Zum Beispiel ein Wert von 50 zeigt annähernd 0,5 Atmosphäre oder den Druck einer 500 cm hohen Wassersäule an.

Laut Gebrauchsanweisung soll dann mit dem Bewässern begonnen werden, wenn die Irrrometerwerte über 50 ansteigen. Eine Bewässerung dauer so lange, bis die Irrrometerwerte in den Bereich von 0 - 15 zurückgehen, was durch das Eindringen von Wasser in die poröse Keramikspitze des Irrrometers verursacht wird.

Obwohl die Irrrometermethode äußerst genau ist, sind unter Feldbedingungen kleinere Abweichungen von 0,1 - 0,15 Atmosphären nicht auszuschließen.

5. Die Saugspannung des Blattes nach SCHARDAKOV

Bei der Bestimmung der Saugspannung des Blattes nach SCHARDAKOV handelt es sich um eine osmotische Gleichgewichtsmethode, d.h. die Konzentration des Osmotikums wird festgestellt, in der das Wasser von dem Pflanzengewebe weder aufgenommen noch abgegeben wird. Dadurch ist es möglich, die unbekannte Blattsaugspannung mittels der bekannten Saugspannung einer Vergleichslösung zu ermitteln.

Als Vergleichslösung dient eine molare Rohrzuckerlösung, die in 6 - 8 kleinere Konzentrationsstufen eingeteilt wird. Diese abgestuften Lösungen werden pro Messung in 2 Reihen Reagenzgläser abgefüllt, und zwar

1. Reihe = Meßreihe mit 5 ml und
2. Reihe = Vergleichsreihe mit 15 ml.

Zu den ersten Reihen werden Blattproben beigelegt. Nach ca. 60 - 90 Minuten wird Farbstoff (Methylenblau) als Indikator hinzugegeben. Von dieser Lösung werden jeweils 1 Tropfen in die Reagenzgläser der Vergleichsreihe gegeben. Anschließend wird innerhalb der ersten 20 Sekunden festgestellt, ob die Farbtropfen steigen, fallen oder an der Stelle stehen bleiben.

Ein Verbleiben des Farbtropfens zeigt an, daß die Saugspannung des Blattes der Saugspannung der Zuckerlösung entspricht. Diese so ermittelten

Werte kann man mittels einer Tabelle in Atm übertragen.

6. Die Indipa-Methode zur Bestimmung des Öffnungszustandes der Stomata

Indipa ist ein besonders feinporiges dreischichtiges Indikatorpapier, das aus zwei Außen- und einer Mittelschicht besteht. Die beiden zinnoberrot gefärbten äußeren Schichten enthalten Gemische von Kondensationsprodukten von substituierten Sulfo-Benzoxylverbindungen (n. KOENEN), die farblose Mittelschicht dagegen enthält das sehr leicht wasserlösliche Agens (Reduktionsmittel), worauf auch die große Empfindlichkeit gegen Wasser von Indipa zurückzuführen ist. Wirkt auf die Außenschichten flüssiges oder dampfförmiges Wasser ein, erfolgt sofort ein leuchtend gelber Farbumschlag, der sich von der roten Färbung sehr deutlich abhebt. Aufgrund dieser großen Empfindlichkeit muß das Papier in luftdicht verschlossenen Polyäthylenbeuteln vor Luftfeuchtigkeit geschützt werden.

Zur Bestimmung des Öffnungszustandes der Stomata wird ein Blatt Indipa dem Polyäthylenbeutel entnommen und auf eine trockene Glasplatte gelegt; darüber kommt das zu untersuchende Blatt mit seiner Unterseite. Die Oberseite wird mit weichem Filterpapier und einer zweiten Glasplatte bedeckt. Zur Anwendung der Methode unter natürlichen Bedingungen kann das Indipa mittels eines Stativs mit beweglichen Klammern an das Untersuchungsblatt angebracht werden.

Die Zeitdauer, innerhalb derer der Farbumschlag stattfindet, ist relativ kurz. Es wird angenommen, daß sekundäre Veränderungen des Öffnungszustandes der Spaltöffnungen fast gänzlich ausgeschlossen werden können. Diese so gewonnenen Reaktionsbilder werden für Vergleichszwecke am besten in einem Exsikkator aufbewahrt.

Eine quantitative Aussage über das Transpirationsausmaß läßt sich aus der Gewichtszunahme des Indipapapiers während der zur Verfärbung erforderlichen Zeit machen. Dazu wird eine bestimmte Anzahl von Indipapieren in einem Polyäthylenbeutel luftdicht verschlossen und gewogen

(A = Ausgangsgewicht). Nun werden die vor Licht geschützten Beutel zu den Testpflanzen gebracht, um den Spaltöffnungszustand festzustellen. Danach erhält man das Endgewicht (E). Die Differenz von A - E ergibt dann die aufgenommene Wasserdampfmenge pro Blattfläche.

Die Anwendung der Methode für das Studium des Wasserhaushaltes der Kulturpflanzen wurde eingehend von BOLAND (1971) beschrieben und geprüft.

III. STANDORT UND VERSUCHSANLAGE 1972 und 1973

In den Jahren 1972 und 1973 wurden die Versuche auf dem, dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Justus-Liebig-Universität Gießen angeschlossenen, Versuchsfeld Groß-Gerau durchgeführt.

Der Standort Groß-Gerau liegt in der Oberrheinischen Tiefebene, etwa 30 km südlich von Frankfurt/Main, in einer Höhenlage von 90 m über dem Meeresspiegel. Die Untersuchungen erfolgten auf zwei Bodenarten und damit auf zwei Mikrostandorten. Der eine Boden ist ein leichter diluvialer, schwach humoser Sandboden mit einer Bodenzahl zwischen 20 und 25. Das Bodenprofil der verwendeten Versuchsschläge besteht in den oberen Horizonten aus 30 - 40 cm kalkarmen Sanden, wovon etwa 20 - 25 cm die schwache humose Krume ausmachen. Die tiefer liegenden Schichten setzen sich aus Kiesen und Tonen mit einzelnen Fließsand- und Kalkablagerungen zusammen, deren Tiefe auf kleineren Flächen erheblich schwankt.

Der zweite Boden (Im Kollenbruch) ist ein alluvialer Boden, der von einem früheren Neckarlauf abgelagert worden ist. Infolge der Flußregulierung ist der Grundwasserspiegel stark gesunken. Da im Gebiet der Rhein-Main-Ebene ein relativ trockenes Klima herrscht (das mildeste Klima Deutschlands), konnte sich der Boden nur wenig entwickeln. Die Bodenart besteht aus humosem, sandigem Lehm mit einer Bodenzahl von ca. 65. Das Bodenprofil setzt sich aus folgenden Horizonten zusammen: 0 - 45 cm stark humoser sandiger Lehm, von 45 - 120 cm Sand.

Das Klima dieses relativ trockenen Standortes ist recht mild und durch verhältnismäßig hohe Temperaturen, geringe Niederschläge und eine niedrige relative Luftfeuchtigkeit gekennzeichnet. Das jährliche Mittel der Jahrestemperatur betrug $9,1^{\circ}\text{C}$ und die mittlere jährliche Niederschlagsmenge 606 mm mit verhältnismäßig großen Jahresschwankungen. Die Anlegung und Verrechnung der Versuche erfolgte nach der Langparzellenmethode nach ZADE. Die Reihenentfernung der Zuckerrüben betrug 50 cm, der Abstand zwischen den vereinzelter Pflanzen innerhalb der Reihe 20 cm ($= 50 \times 20 \text{ cm} = 10 \text{ Pflanzen/m}^2$).

In den Jahren 1972 und 1973 wurden die Versuchsflächen folgendermaßen gedüngt:

a) 300 dz/ha Stapelmist

zur Aussaat:

b) 100 kg/ha N (Kalkammonsalpeter)

c) 200 kg/ha K (Kornkali)

d) 43 kg/ha P (Thomasmehl)

nach dem Vereinzeln:

e) 50 kg/ha N (Kalksalpeter)

bei Reihenschluß:

f) 50 kg/ha N (Kalksalpeter)

IV. WITTERUNG

Der Witterungsverlauf der beiden Versuchsjahre 1972 und 1973 ist in den Tabellen 1 und 2 sowie in den Graphiken 1 und 2 sowie 26 und 27 (Anhang) dargestellt.

Witterungsverlauf 1972

Im Jahre 1972 entsprach die Temperatur genau dem langjährigen durchschnittlichen Mittel von $9,1^{\circ}\text{C}$. Im Gegensatz zum langjährigen Niederschlagsdurchschnitt von 606 mm fielen jedoch nur 519,0 mm.

Zum ersten Einsatz der Beregnung der beiden Felder kam es im Monat Juni, wo verhältnismäßig hohe Temperaturen herrschten. In der ersten Julihälfte fielen hohe Niederschlagsmengen, die einen Ausgleich der Bodenfeuchte sowohl bei den beregneten als auch bei den unberegneten Varianten bewirkten. In der zweiten Julihälfte mit relativ hohen Temperaturen konnte die Evapotranspiration nicht ersetzt werden, und es mußte erneut bei einer 50 % nutzbaren Feldkapazität beregnet werden. Der August war warm und trocken, und es herrschten zeitweise überdurchschnittliche Temperaturen, so daß häufig Beregnungseinsätze sowohl auf Sandboden als auch auf humosem Lehm nötig waren. Von kurz anhaltenden Niederschlägen Mitte August und September abgesehen, hielt diese Trockenperiode bis Mitte Oktober an. Aufgrund dessen war es Ende September erforderlich, wiederum eine Beregnung auf Sandboden erfolgen zu lassen.

Witterungsverlauf 1973

Im Gegensatz zu der durchschnittlichen langjährigen Temperatur von $9,1^{\circ}\text{C}$ lag die Durchschnittstemperatur des Versuchsjahres 1973 wesentlich höher, bei $9,8^{\circ}\text{C}$. Gleichzeitig lagen die Niederschläge dieses Jahres mit 467,2 mm weit niedriger als der langjährige Durchschnitt von 606 mm.

Da in den Wintermonaten 1973 von einzelnen Niederschlägen abgesehen eine trockene Witterung herrschte, lag die Bodenfeuchtigkeit (Sandboden) schon im Monat April bei 50 % der nutzbaren Feldkapazität, so daß bereits nach der Aussaat die Variante R_2 (50 % der nFK) beregnet wurde.

Durch Niederschläge in der ersten Maidekade wurde der Boden vorübergehend gesättigt, doch sank aufgrund der trockenen und relativ warmen ersten Junidekade der Bodenwassergehalt wieder bis zum Beregnungseinsatzwert ab. Diese Schönwetterlage mit überdurchschnittlichen Temperaturen dauerte bis Mitte Juli an und machte mehrere Beregnungseinsätze notwendig. In der Zeit von Mitte Juli bis Anfang August fielen hohe Niederschläge. Es schloß sich eine weitere Trockenperiode an, die sich bis Mitte September erstreckte, und es waren abermals mehrere Beregnungen erforderlich.

Im weiteren Verlauf der Vegetation herrschten relativ kühle Temperaturen bei ausreichenden Niederschlägen.

Tabelle 1: Witterung Groß-Gerau; Temperatur (T) in ° C
Niederschlag (NS) in mm

Monat	Pentade	1973		20jähriges Mittel	
		T	NS	T	NS
April	1	5,5	2,5	7,3	4,8
	2	8,1	0,3	8,5	5,2
	3	3,7	7,2	8,3	8,7
	4	6,5	5,1	9,6	6,7
	5	8,0	0,0	10,3	8,1
	6	12,5	4,0	10,5	9,1
Mai	1	16,5	20,1	11,9	6,5
	2	11,5	15,4	13,5	9,7
	3	11,2	0,3	13,9	7,6
	4	14,5	2,0	13,3	10,0
	5	15,0	20,5	13,7	9,4
	6	16,5	8,8	14,2	12,7
Juni	1	16,6	4,3	15,7	13,4
	2	16,1	5,9	16,2	16,9
	3	18,5	2,8	16,2	10,6
	4	20,2	0,1	17,8	10,8
	5	18,0	12,8	17,5	10,1
	6	22,1	1,9	17,3	12,2
Juli	1	24,9	0,0	18,0	6,5
	2	21,2	0,0	18,4	9,0
	3	20,4	18,3	18,3	12,4
	4	18,2	25,9	18,4	11,2
	5	15,7	23,9	18,5	10,0
	6	16,0	14,3	18,2	17,5
August	1	19,3	1,5	18,3	13,0
	2	17,8	12,2	18,1	12,3
	3	22,1	0,0	17,7	16,2
	4	21,7	10,3	16,6	15,6
	5	22,9	0,3	16,0	12,7
	6	20,5	14,7	16,1	11,8
September	1	20,2	0,0	16,1	6,5
	2	20,3	0,0	15,1	8,5
	3	13,3	0,0	14,3	6,7
	4	16,3	23,6	13,4	8,2
	5	10,9	9,2	13,1	8,5
	6	11,7	3,7	11,8	6,7
Oktober	1	12,4	0,1	11,7	4,5
	2	11,8	10,9	10,4	6,6
	3	7,4	10,2	9,4	6,3
	4	8,1	28,6	8,7	9,6
	5	7,1	14,7	8,0	8,6
	6	5,0	0,0	6,9	9,1

ABB. 1

Witterung Groß-Gerau 1972 Pentadenwerte

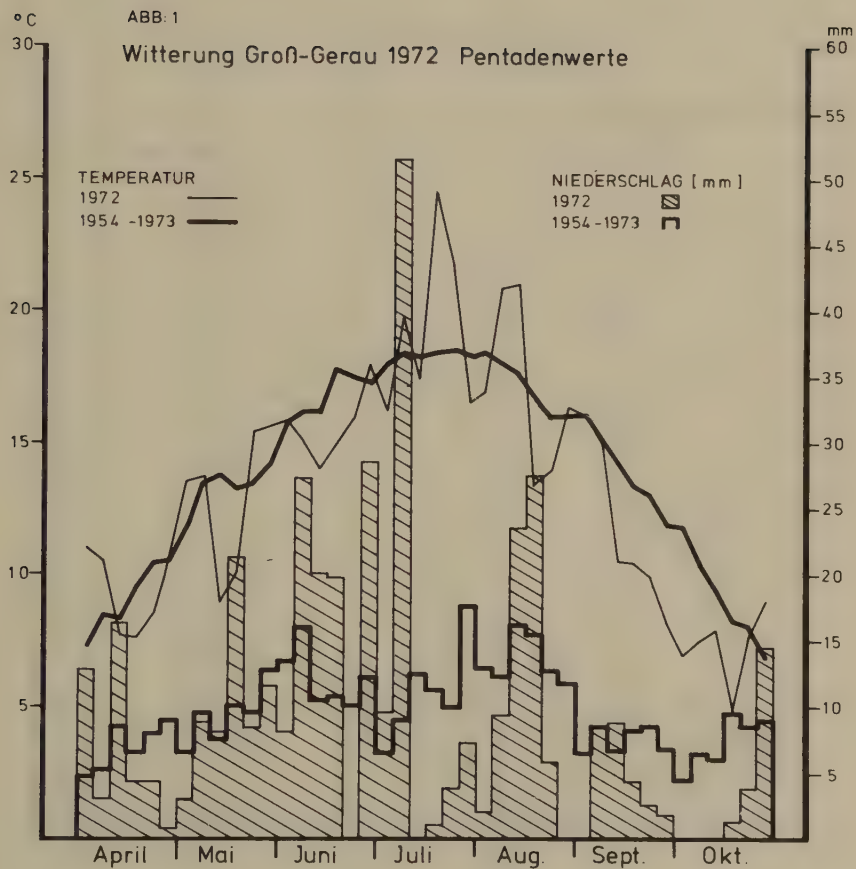


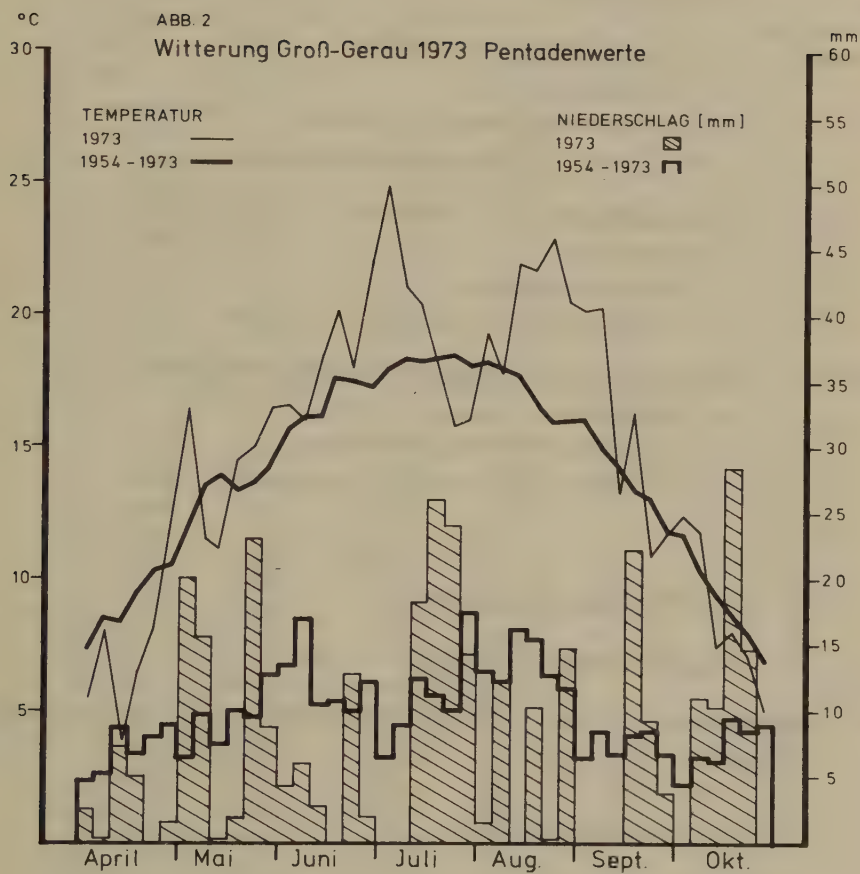
Tabelle 2:

Witterung Groß-Gerau: Temperatur (T) in ° C
Niederschlag (NS) in mm

Monat	Pentade	1972		20jähriges Mittel	
		T	NS	T	NS
April	1	11,0	12,7	7,3	4,8
	2	10,4	2,9	8,5	5,2
	3	7,7	16,3	8,3	8,7
	4	7,6	4,3	9,6	6,7
	5	8,5	4,3	10,3	8,1
	6	9,8	0,7	10,5	9,1
Mai	1	13,5	3,1	11,9	6,5
	2	13,7	8,8	13,5	9,7
	3	9,0	7,9	13,9	7,6
	4	10,0	18,7	13,3	10,0
	5	15,4	8,2	13,7	9,4
	6	15,5	11,6	14,2	12,7
Juni	1	15,7	7,9	15,7	13,4
	2	15,0	27,3	16,2	16,9
	3	14,0	20,1	16,2	10,6
	4	14,9	19,8	17,8	10,8
	5	15,9	0,0	17,5	10,1
	6	17,9	28,5	17,3	12,2
Juli	1	16,2	9,6	18,0	6,5
	2	19,7	54,1	18,4	9,0
	3	17,4	0,0	18,3	12,4
	4	24,6	0,9	18,4	11,2
	5	21,8	3,7	18,5	10,0
	6	16,5	7,2	18,2	17,5
August	1	17,0	1,9	18,3	13,0
	2	20,9	9,2	18,1	12,3
	3	21,1	23,5	17,7	16,2
	4	13,4	27,4	16,6	15,6
	5	14,5	5,7	16,0	12,7
	6	16,3	0,0	16,1	11,8
September	1	16,1	0,0	16,1	6,5
	2	15,0	7,3	15,1	8,5
	3	10,5	8,7	14,3	6,7
	4	10,3	4,3	13,4	8,2
	5	9,9	2,4	13,1	8,5
	6	8,2	1,7	11,8	6,7
Oktober	1	7,0	0,0	11,7	4,5
	2	7,5	0,0	10,4	6,6
	3	7,9	0,0	9,4	6,3
	4	4,9	1,3	8,7	9,6
	5	7,7	3,7	8,0	8,6
	6	9,0	14,6	6,9	9,1

ABB. 2

Witterung Groß-Gerau 1973 Pentadenwerte



V. FELDVERSUCHE MIT ZUCKERRÜBEN WÄHREND DER
VEGETATIONSPERIODE 1972

1. Versuchsvarianten

A) Feld D (Sandboden) mit 3 Varianten:

R_0 = unberechnet

R_1 = berechnet nach Wetteramt Offenbach

R_2 = berechnet bei 50 % nutzbarer Feldkapazität

B) Feld 1 (Sandboden) mit 3 Varianten:

R_0 = unberechnet

R_1 = automatisch berechnet

R_2 = berechnet bei 50 % nutzbarer Feldkapazität

C) Feld im Kollenbruch (humoser Lehm) mit 3 Varianten:

R_0 = unberechnet

R_1 = berechnet nach Wetteramt Offenbach

R_2 = berechnet bei 60 % nutzbarer Feldkapazität

2. Der Wasserhaushalt des Bodens

2.1. Die Wasserhaushaltkennwerte

Die Mittelwerte der 8 parallel laufenden Bestimmungen sind aus der Tabelle 3 zu ersehen.

2.2. Die Bodenfeuchtigkeit

ad A: Feld D (Sandboden)

In den Abbildungen 3 und 4 und der Tabelle 4 (s. Anhang) ist der Verlauf der Bodenfeuchtigkeit während der Vegetationszeit 1972 aufgezeigt. Zu Beginn der Untersuchungen am 1. 6. 1972 lag die Bodenfeuchtigkeit der 0 - 40 cm-Bodenschicht bei 70 % der nutzbaren Feldkapazität, während die 0 - 60 cm-Schicht etwa der Feldkapazität entspricht.

Tabelle 3: Die Wasserhaushalt-Kennwerte 1972

a) Feld D (Sandboden)

Boden- tiefe cm	Trocken- raum- gewicht g/cm ³	Feldkapazität		Totes Boden- wasser mm	nutzbare Feldkapa- zität mm
		Gewicht %	Volumen %		
			mm		
0-10	1,57	17,66	27,7	8,0	19,6
10-20	1,54	16,14	24,9	8,2	16,7
20-30	1,51	15,05	22,8	7,9	14,9
30-40	1,57	9,34	14,7	6,9	7,8
Σ 0-40			90,1	31,0	59,1
ϕ 0-40	1,55	14,65	22,5	7,7	14,8
40-50	1,50	9,00	13,5	5,4	8,1
50-60	1,61	6,88	11,1	5,8	5,3
ϕ 40-60	1,56	7,94	12,3	5,6	6,7

b) Feld 1 (Sandboden)

0-10	1,40	12,36	17,36	3,38	13,98
10-20	1,41	11,75	16,62	3,62	13,00
20-30	1,34	11,68	15,63	3,04	12,59
30-40	1,52	8,11	12,36	2,52	9,84
Σ 0-40			61,97	12,56	49,41
ϕ 0-40	1,42	10,98	15,49	3,14	12,35
40-50	1,48	8,71	12,84	1,96	10,88
50-60	1,45	9,81	14,19	1,96	12,23
ϕ 40-60	1,46	9,26	13,52	1,96	11,56

c) Feld im Kollenbruch (humoser Lehm)

0-10	1,59	18,55	29,5	12,8	16,7
10-20	1,58	18,03	28,5	12,7	15,8
20-30	1,57	16,36	25,7	12,6	13,1
30-40	1,41	14,60	20,6	9,8	10,7
Σ 0-40			104,3	47,9	56,3
ϕ 0-40	1,54	16,98	26,1	12,8	14,1
ϕ 40-60	1,38	10,86	15,0	7,3	7,7

Ende Juni sank die Bodenfeuchtigkeit infolge einer Trockenperiode mit hohen Temperaturen stark ab, so daß am 26.6.1972 die Variante R₂ (50 % der nFK) zum ersten Mal mit 30 mm beregnet werden mußte. Der Variante R₁ (Wetteramt) wurden am 27.6.1972 16 mm verabreicht. Da in der ersten Juli-hälfte hohe Niederschläge fielen, verlief die Bodenfeuchtigkeit bei allen drei

ABB 3

Groß-Gerau 1972 Zuckerrüben [FELD D]

Witterungs- und Bodenfeuchte bei verschiedenen Berechnungsmethoden 0-40 cm

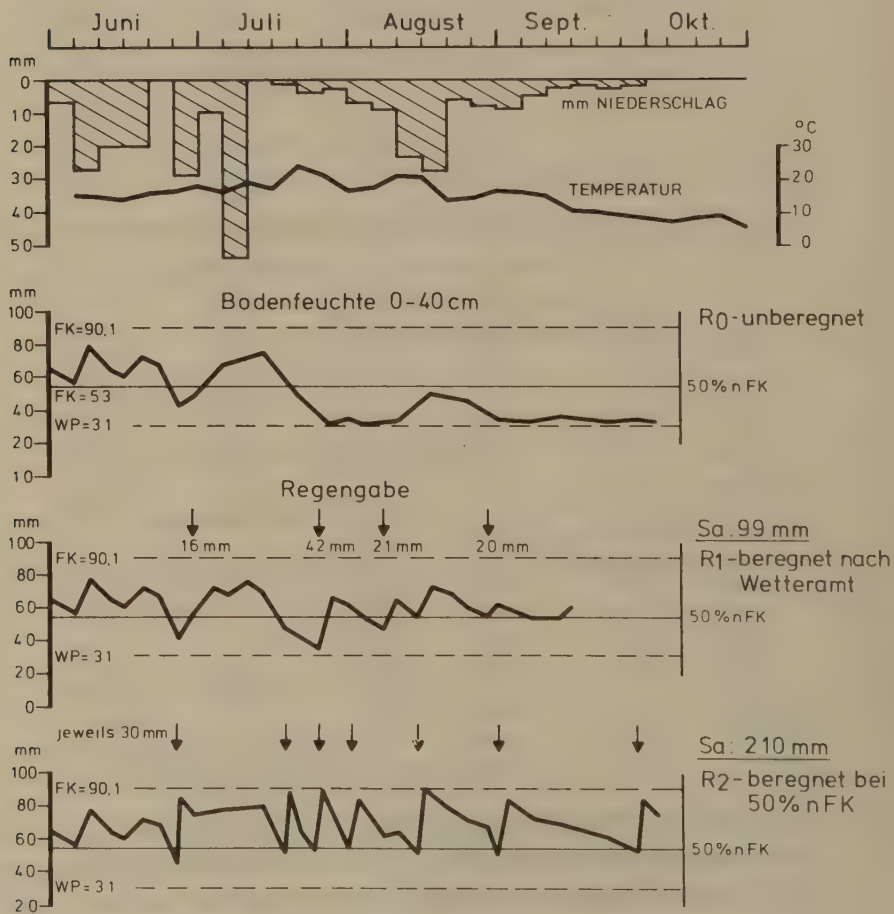
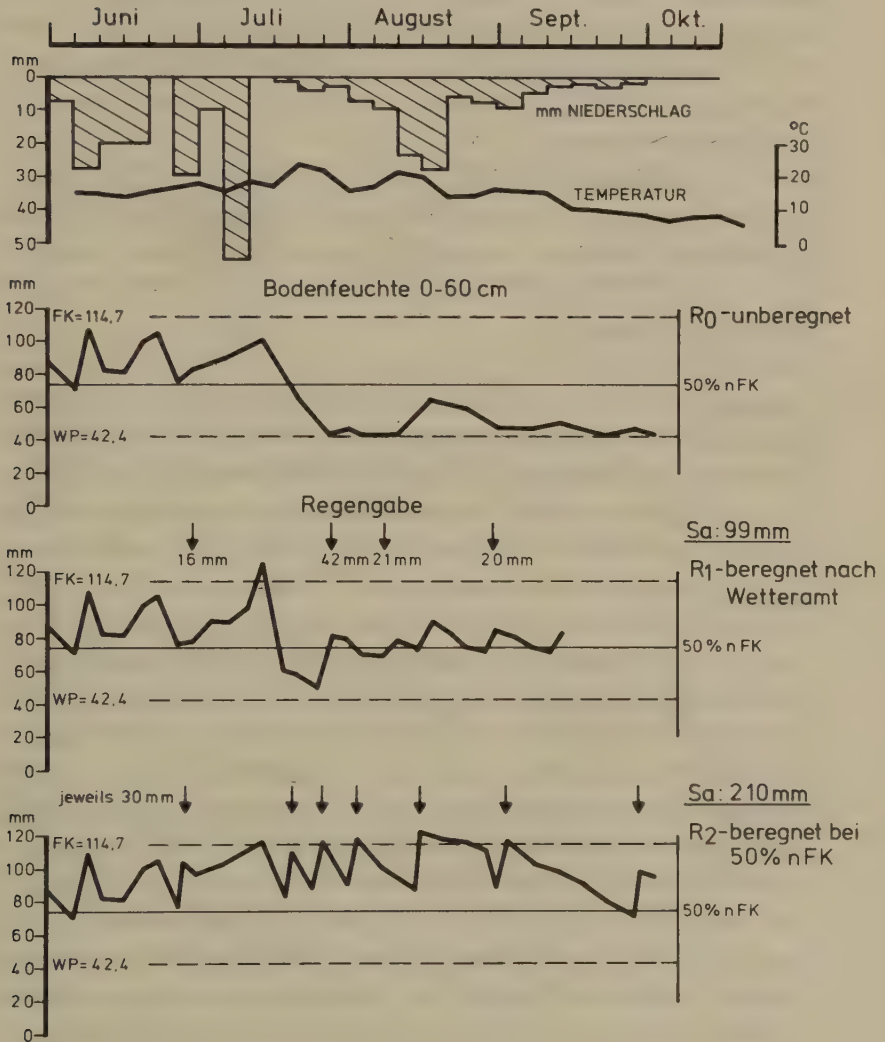


ABB. 4 Groß-Gerau 1972 Zuckerrüben [FELD D]
Witterungs- und Bodenfeuchte bei verschiedenen Berechnungs-
methoden 0-60 cm



Varianten im Bereich der Feldkapazität, zeitweise sogar darüber. In der zweiten Julihälfte herrschte eine trockene Witterung, aufgrund derer die Pflanzen der Variante R_0 (unberechnet) starke Welkeerscheinungen zeigten. An den Pflanzen der Variante R_1 (Wetteramt) konnten ebenfalls starke Welkeerscheinungen beobachtet werden, da hier am 24.7.1972 die nutzbare Feldkapazität der 0 - 40 cm-Bodenschichten bei 8 % und der 0 - 60 cm-Schichten bei 13 % lag.

Ende September, am 29.9.1972, wurde der Variante R_2 (50 % der nFK) die letzte Regengabe von 30 mm verabreicht. Insgesamt wurde die Variante R_1 (Wetteramt) mit 99 mm und R_2 (50 % der nFK) mit 210 mm beregnet.

ad B Feld 1 (Sandboden)

Einen graphischen Überblick der Bodenfeuchtigkeit gibt die Abbildung 5 und die Tabelle 5 (s. Anhang). Zu Beginn des Monats Juni lag der Bodenfeuchtegehalt aller Varianten der Bezugsschichten von 0 - 40 cm bei 60 % der nutzbaren Feldkapazität und stieg aufgrund hoher Niederschläge bis Mitte Juni auf 87 % der nutzbaren Feldkapazität weiter an. Gegen Ende des Monats Juni sank die Bodenfeuchtigkeit als Folge sehr hoher Temperaturen und Trockenheit stark ab, so daß am 26.6.1972 bei der Variante R_2 (50 % der nFK) die erste Regengabe von 25 mm erfolgte. Die Bodenfeuchte der Variante R_1 (Automatik) lag bei 60 % der nutzbaren Feldkapazität. Die niedrigste Bodenfeuchtigkeit mit 18 % der nutzbaren Feldkapazität wurde Anfang August bei der Variante R_0 (unberechnet) gemessen. Die Pflanzen der automatisch berechneten Variante R_1 machten bis Ende Juni einen guten Eindruck. Sehr bald traten Aufhellungs- (Chlorophyllmangel) und Verkümmerserscheinungen auf, so daß Ende August nur noch 3 - 4 jüngere vergilbte Blätter an jeder Pflanze übrig blieben. In zunehmendem Maße wurden die Pflanzen von dem Pilz "Cercospora beticola" (Blattfleckenkrankheit) befallen. Es wird angenommen, daß der mit der automatischen Beregnung erzeugte feucht-kühle Charakter des Mikroklimas zu stark ausgeprägt war. Insgesamt wurde die Variante R_2 (50 % der nFK) mit 125 mm beregnet.

ad C Feld im Kollenbruch (humoser Lehm)

Die Abbildungen 6 - 7 und die Tabelle 6 (s. Anhang) geben einen genauen Überblick des Bodenfeuchteverlaufes.

ABB.5 Groß-Gerau 1972 Zuckerrüben [FELD 1]
Witterungs- und Bodenfeuchte bei verschiedenen Berechnungs-
methoden 0-40 cm

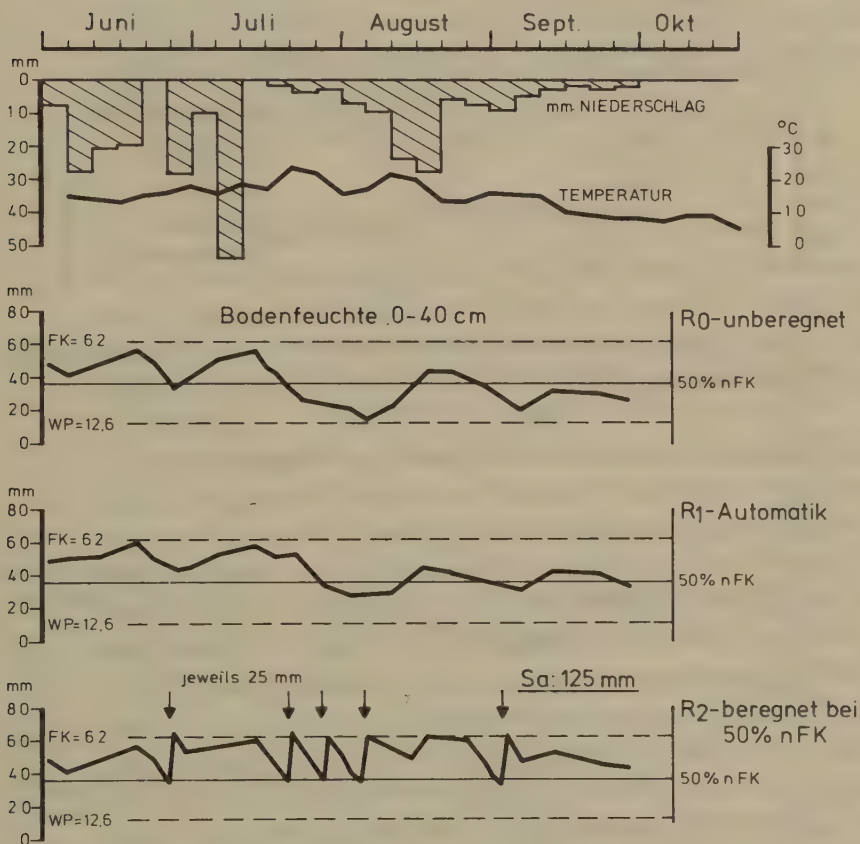
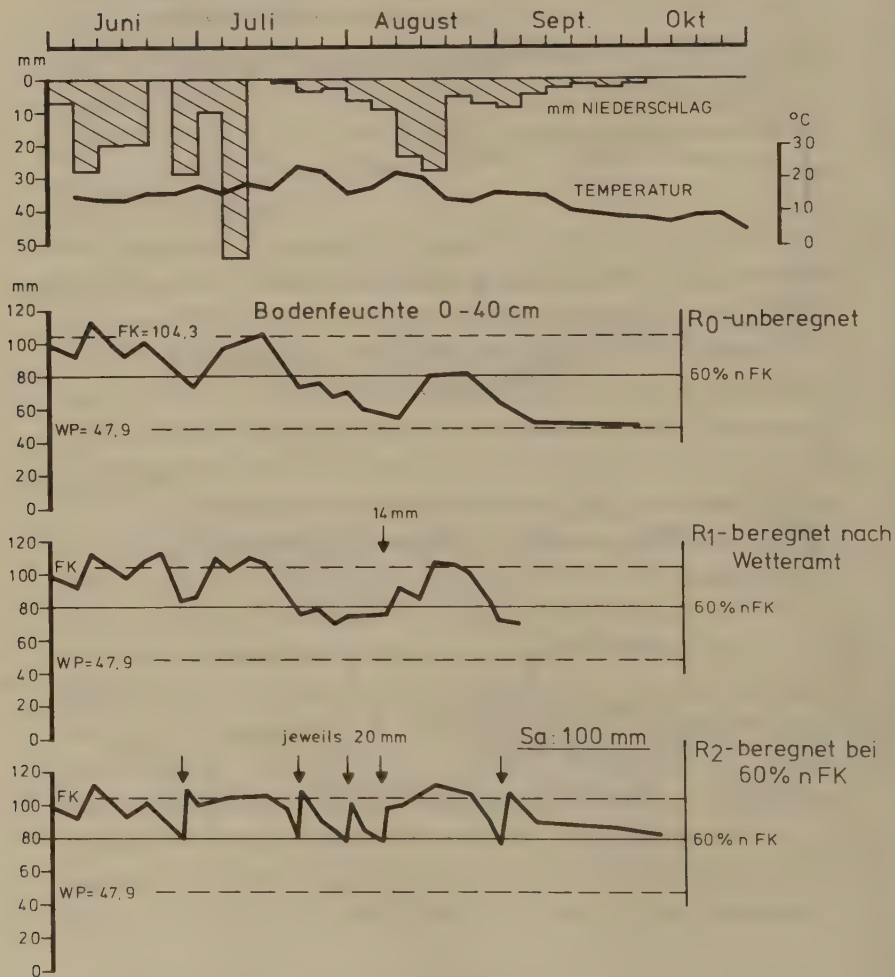


ABB. 6 Groß-Gerau 1972 Zuckerrüben [FELD KOLLENBRUCH]
Witterungs- und Bodenfeuchte bei verschiedenen Beregnungsmethoden 0-40 cm



Die hohen Temperaturen am Ende des Monats Juni ließen die Bodenfeuchtigkeit der Variante R_2 (60 % der nFK) so weit absinken, daß sie am 28.6.1972 zum ersten Mal mit 20 mm beregnet wurde. Der Variante R_1 (Wetteramt) wurde nur einmal am 7.8.1972 eine Regengabe von 14 mm verabreicht. Die niedrigste Bodenfeuchtigkeit wurde bei Variante R_0 (unberegnet) am 10.8.1972 mit 12,6 % der nutzbaren Feldkapazität gemessen, und sie hielt sich auch weiterhin, d.h. bis zur Ernte, mit geringfügigen Abweichungen im Bereich des Welkepunktes auf. Die Variante R_2 (60 % der nFK) wurde insgesamt mit 120 mm beregnet.

2.3. Der Wasserverbrauch des Rübenbestandes

Es ist bekannt, daß sich das Wurzelsystem einer Pflanze in Abhängigkeit vom Wassergehalt des Bodens verschieden entwickelt. Untersuchungen zahlreicher Autoren haben demonstriert, daß sich die meisten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen vornehmlich aus den oberen Bodenschichten mit Wasser versorgen.

Der Wasserverbrauch der Pflanzen setzt sich aus zwei verschiedenen Größen zusammen: der Wasserabgabe der Pflanzen (= Transpiration) sowie der Verdunstung des Bodens oder der Fläche (= Evaporation). Im Gegensatz zu Gefäßversuchen, wo der Transpirationsverlust unbeeinflusst von der Evaporation gemessen werden kann, ist bei Untersuchungen im freien Feld die Evaporation zu berücksichtigen. Evapotranspiration wird ermittelt aus der Differenz des Wasservorrates in der Bodenwasser-Speicherzone zwischen zwei Terminen und den Niederschlägen unter Einbeziehung der Beregnungsmengen innerhalb dieses Zeitabschnittes. Ohne Berücksichtigung bleiben der Verlust an Sickerwasser oder der mögliche Einfluß durch aufsteigendes Grundwasser. Somit läßt sich der Wasserverbrauch (WV) in einem Untersuchungszeitraum nach folgender Formel berechnen:

$$WV = N + (W_1 - W_2)$$

N = Niederschlag und Beregnungsmengen

$W_1 + W_2$ = Wasservorrat zweier Termine

ABB. 7 Groß-Gerau 1972 Zuckerrüben [FELD KOLLENBRUCH]
Witterungs- und Bodenfeuchte bei verschiedenen Berechnungs-
methoden 0-60 cm

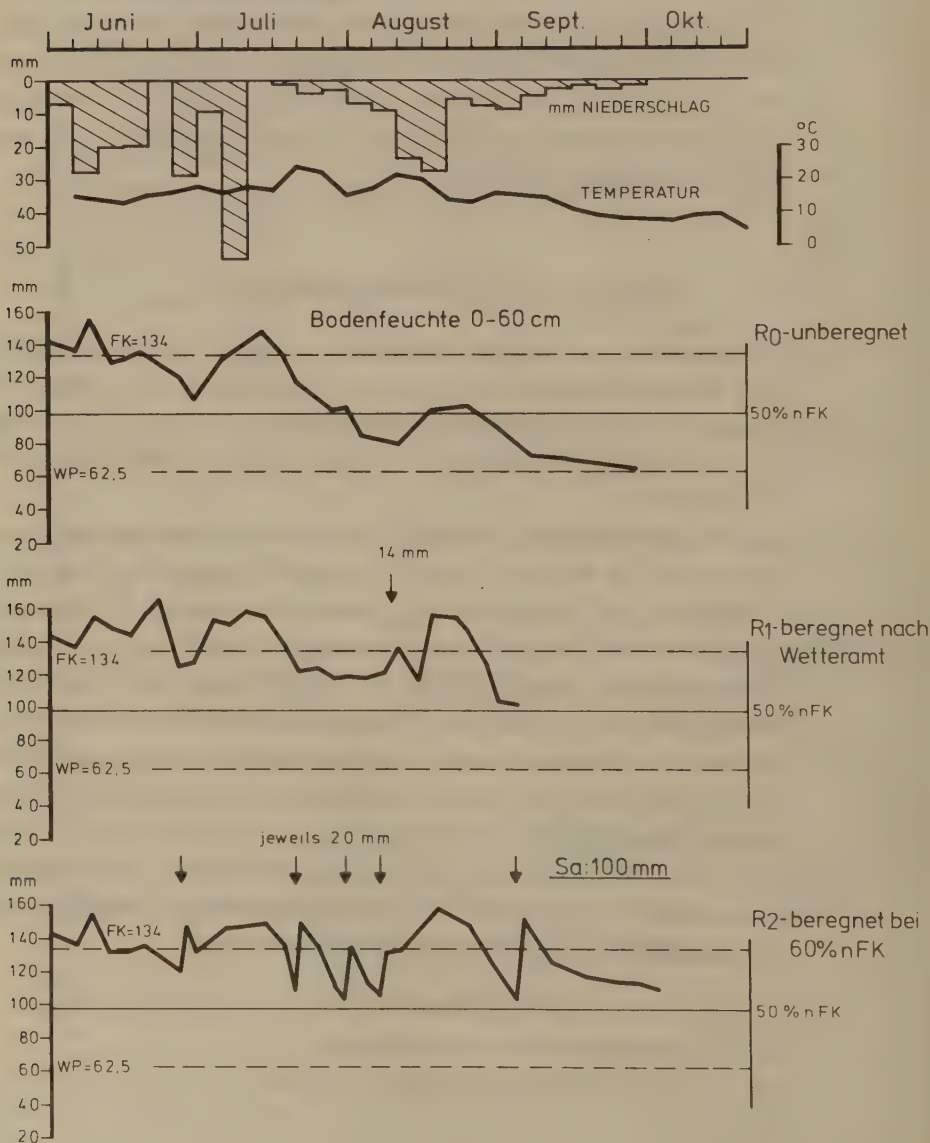


ABB 8

Anderung des mittleren täglichen Wasserverbrauches und N/V-
Quotienten [Pentadenwerte] bei Zuckerrüben im Laufe der Vegetation 1972
Variante R0, unberechnet

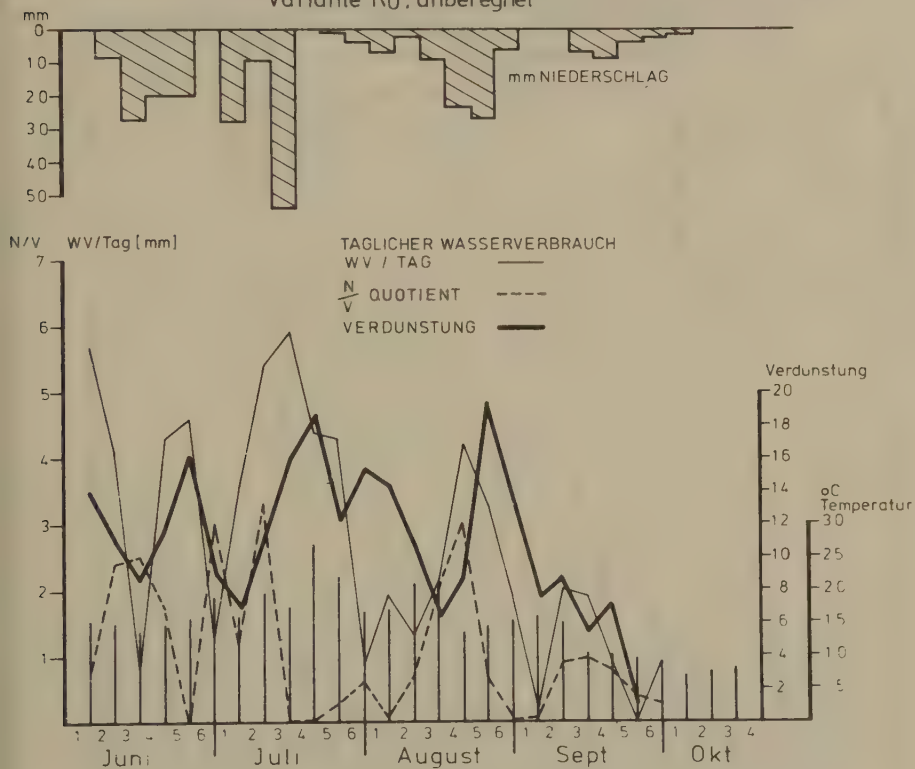


ABB 9

Änderung des mittleren täglichen Wasserverbrauches und N/V-
Quotienten [Pentadenwerte] bei Zuckerrüben im Laufe der Vegetation 1972

Variante R₁, berechnet nach Wetteramt

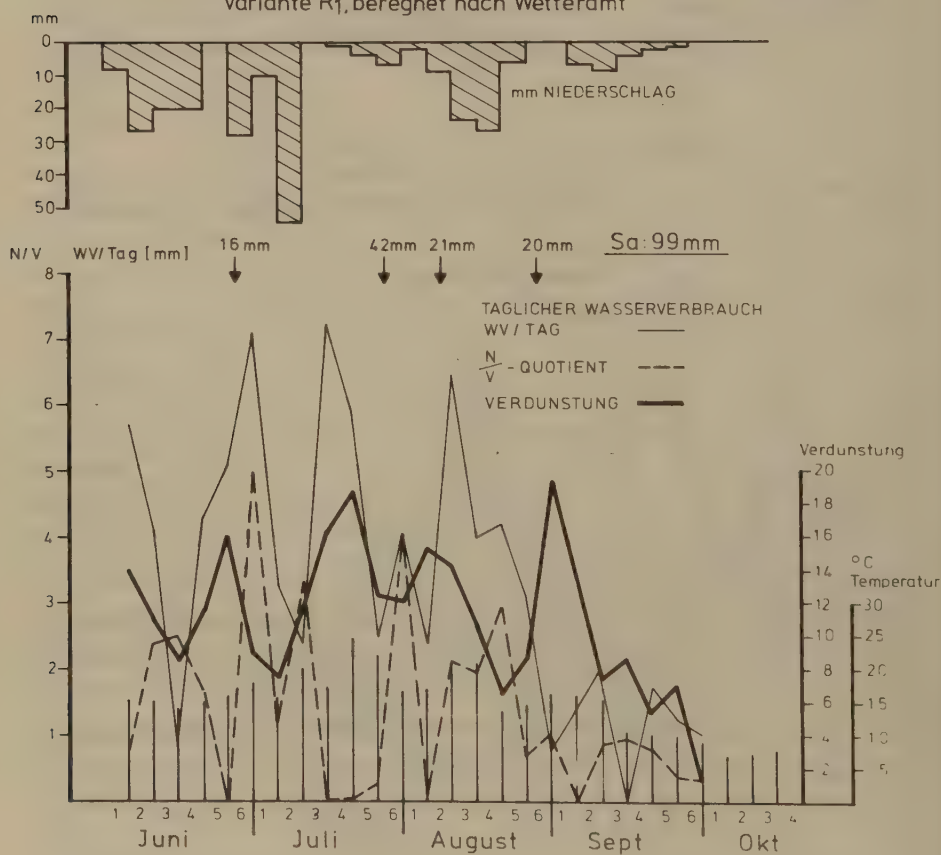
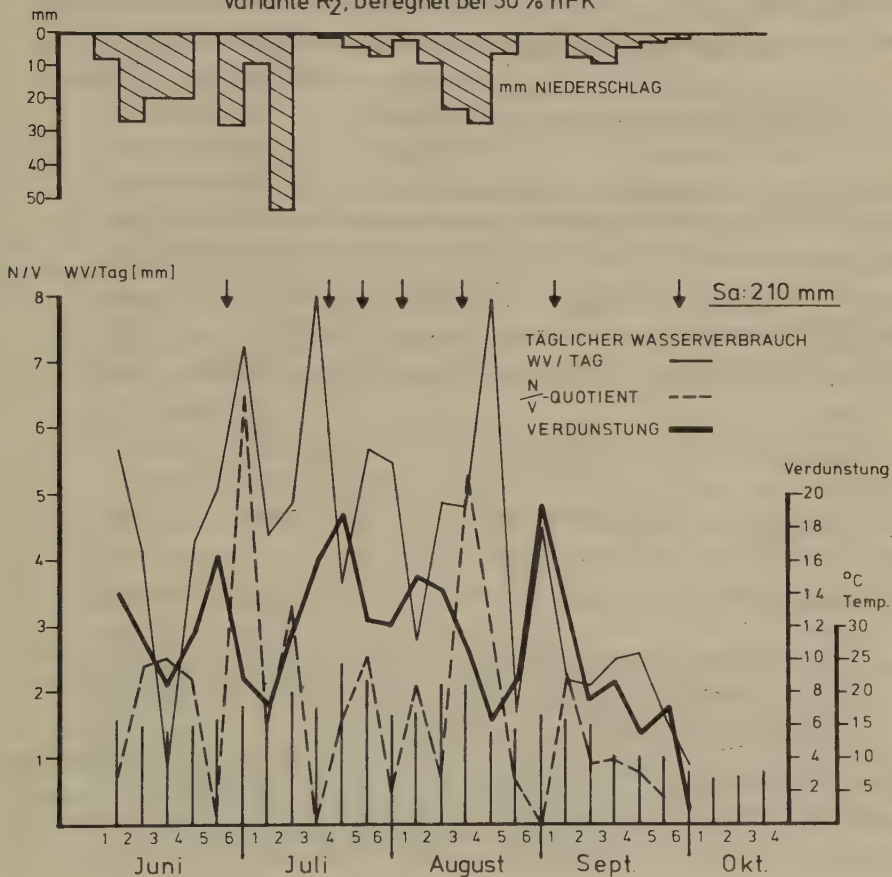


ABB 10

Änderungen des mittleren täglichen Wasserverbrauches und N/V -
Quotienten [Pentadenwerte] bei Zuckerrüben im Laufe der Vegetation 1972

Variante R₂, berechnet bei 50 % nFK



In den Abbildungen 8 - 11 und in der Tabelle 7 (Anhang) sind die Wasserverbrauchswerte für die Tiefe von 0 - 60 cm bei den einzelnen Berechnungsmethoden zusammengestellt. In den genannten Abbildungen wurden zum Vergleich die von E. v. BOGUSLAWSKI eingeführten N/V-Quotienten (N = Niederschlag + Berechnung, V = Verdunstung einer freien Wasseroberfläche) dargestellt. Zwecks Durchführung eines einfachen Vergleiches werden in der Tabelle 8 die Relativwerte für die Erträge (bezogen auf unberechnet = 100), der Wasserverbrauch und die errechnete Wasserverwertung angegeben. Die absoluten Erträge werden unter Punkt VII behandelt.

Tabelle 8: Feldversuch mit Zuckerrüben 1972
Wasserverbrauch, Frischmasseerträge (Relativwerte),
Gesamte Trockenmasseerträge und Wasserverwertung

Varianten	Blatt rel.	Rübe rel.	Gesamt rel.	Wasser- verbrauch rel.	Gesamt- TM Entzug dz/ha	Wasser- verwertung kg TM/"mm
R ₀ (unberechnet)	100	100	100	100	100	38,7
R ₁ (Wetteramt)	167	172	169	120	175	45,6
R ₂ (50 % d. nFK)	253	282	267	148	285	57,6

Es ist ersichtlich, daß die Variante R₂ (50 % der nFK) erhebliche Mehrerträge bei der Ertragskomponente erbracht hat.

Der Wasserverbrauch ist bei der Variante R₂ verhältnismäßig viel geringer angestiegen, so daß die Wasserverwertung hier den höchsten Wert erreicht.

Die Variante R₁ (nach Wetteramt) nimmt eine Mittelstellung ein.

3. Der Wasserhaushalt der Pflanze

3.1. Die Saugspannung des Blattes

Während der Vegetationsperiode 1972 wurden die Ermittlungen zum Wasserhaushalt der Pflanze auf dem Feld D (Sandboden) durchgeführt.

Die regelmäßigen Untersuchungen zur Bestimmung der Blattsaugspannung konnten erst beginnen, nachdem die Blätter der Zuckerrüben eine gewisse Größe erreicht hatten.

In der Graphik 12 und in der Tabelle 9 (s. Anhang) ist der Verlauf der Blattsaugspannung (1972) im Zusammenhang mit der Bodenfeuchtigkeit (1972) und dem Witterungsverlauf (Niederschlag, Temperatur, rel. Luftfeuchtigkeit) (1972) dargestellt. Wie daraus zu ersehen ist, verhält sich die Blattsaugspannung konträr zur Bodenfeuchtigkeit. Die kleineren Abweichungen sind auf die klimatischen Verhältnisse (hauptsächlich auf die rel. Luftfeuchtigkeit) zurückzuführen. - Auf den Einfluß der Umweltfaktoren auf die Blattsaugspannung ist ausführlich in der Dissertation von R. BOCKSCH (1972) eingegangen worden. -

Anfang Juni, bei Beginn der Untersuchungen, lag die Blattsaugspannung bei 9,5 atm. Bis Ende des Monats stieg sie bis auf 12 atm an, so daß eine Beregnung der Variante R_2 (50 % der nFK) erforderlich wurde. Aufgrund der Witterungslage in der ersten Julihälfte (hohe Niederschläge) sanken die Werte wieder bis auf 7 atm ab, was eine Annäherung der Werte von R_0 (unberegnet) und R_2 (50 % der nFK) bewirkte.

Aufgrund des Abklingens der Niederschläge und höherer Temperaturen von Mitte Juli bis Mitte August stieg die Blattsaugspannung bei der Variante R_0 (unberegnet) bis auf 15 atm an. Die Regenstufe R_2 (50 % der nFK) wurde in diesem Zeitabschnitt viermal beregnet. Nach der niederschlagsreichen Zeit trat Anfang September die dritte Trockenperiode ein. Zu diesem Zeitpunkt, am 7.9.1972, erreichte die Saugspannung der Pflanzen von R_0 (unberegnet) ihren Maximalwert von 17 atm.

Aufschluß über die Beregnungseinsätze unter dem Aspekt der Blattsaugspannung geben die Werte, die direkt vor und nach einer Beregnung gemessen worden sind.

ABB: 11

Groß-Gerau 1972 (FELD D)

Wasserverbrauch, berechnet auf Grund der Wasserbilanz
bei verschiedenen Berechnungsmethoden bei Zuckerrüben
in mm [0-60 cm Tiefe]

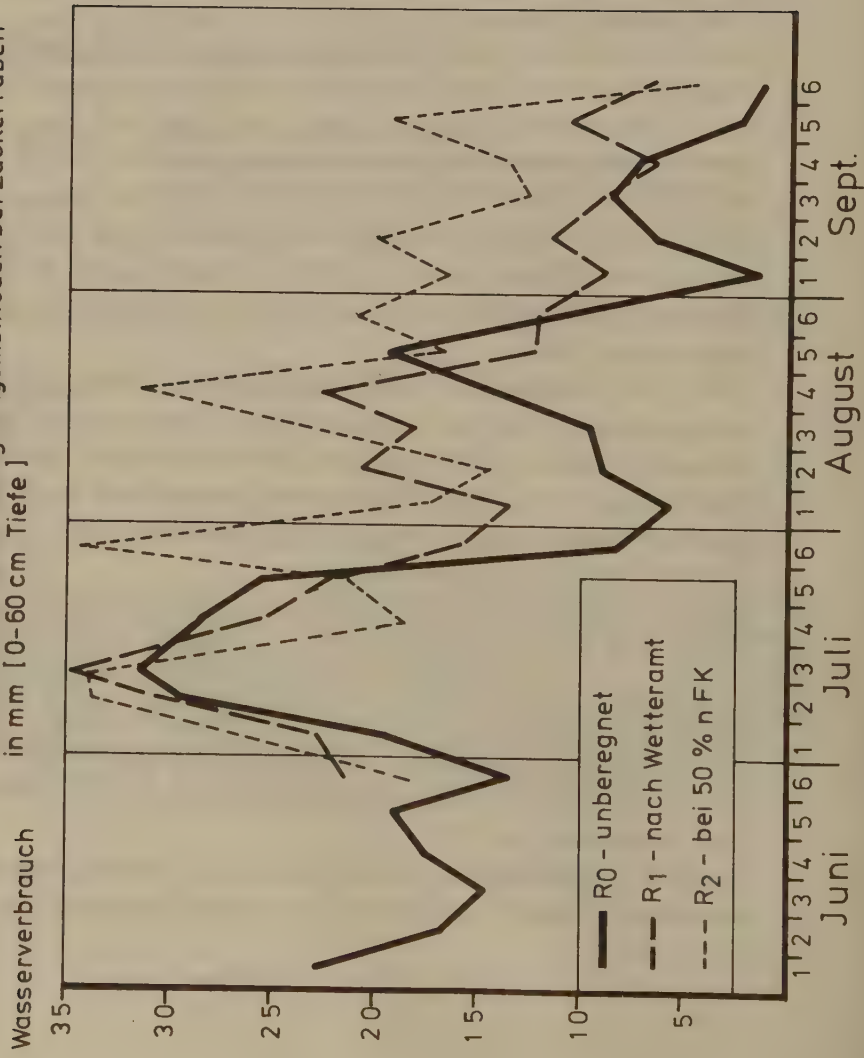


Tabelle 10: Die Blattsaugspannung der Variante R₂ (30 mm bei 50 % der nutzbaren Feldkapazität) vor und nach den Berechnungen 1972

Datum	Saugspannung (atm)		Bodenfeuchte % nFK, 0-40 cm		Luft- feuchte %	T °C
	vor der Beregn.	nach der Beregn.	vor der Beregn.	nach der Beregn.		
27.6.	10,9	8,3	45	97	43	31
18.7.	10,1	7,8	47	99	42	34
25.7.	11,7	8,2	51	95	57	25
2.8.	11,5	8,1	47	94	52	22
15.8.	12,7	8,1	51	106	52	23
2.9.	12,6	8,4	47	103	42	24
29.9.	10,2	8,1	49	93	65	12

Wie in der Tabelle 10 zu sehen ist, steigen die Werte der Blattsaugspannung mit zunehmendem Alter der Pflanzen an (vgl. SAFAR 1968, BOLAND 1971, BOCKSCH 1972), was im Hinblick auf eine Beregnung nicht unberücksichtigt bleiben darf.

3.2. Der Öffnungszustand der Stomata (Indipa-Methode)

Die Untersuchungen mit der Indipa-Methode verzögerten sich, da der Bestellung des in der Schweiz hergestellten Indipa-Papiers sehr spät Folge geleistet worden ist. Außerdem fehlte die für die Messungen notwendige Waage.

Die erste Untersuchung erfolgte am 23.8.1972. Als Basis der Messungen diente die Variante R₂ (50 % der nFK). Die in dieser Vegetationsperiode noch ermittelten Transpirationswerte sind in der Tabelle 10 (Blattsaugspannung 1972) aufgeführt.

VI. FELDVERSUCHE MIT ZUCKERRÜBEN WÄHREND DER VEGETATIONSPERIODE 1973

1. Versuchsvarianten

Im Versuchsjahr 1972 konnten nicht dieselben drei Felder wie im Jahr 1972 benutzt werden. Aufgrund der Fruchtfolge wurden folgende drei Felder für die Beregnungsversuche verwendet:

A) Feld 4 (Sandboden) mit 4 Varianten:

R_0 = unberechnet

R_1 = berechnet nach Wetteramt Offenbach

R_2 = berechnet bei 50 % nutzbarer Feldkapazität

R_3 = berechnet nach Irrrometer

B) Feld 2 (Sandboden) mit 3 Varianten:

R_0 = unberechnet

R_1 = automatisch berechnet

R_2 = berechnet bei 50 % nutzbarer Feldkapazität

C) Feld im Kollenbruch, oben (humoser Lehm) mit 3 Varianten:

R_0 = unberechnet

R_1 = berechnet nach Wetteramt Offenbach

R_2 = berechnet bei 60 % nutzbarer Feldkapazität

Neben den im Vorjahr benutzten Methoden kam 1972 zusätzlich das Irrrometer (s. Punkt II, 4) auf Feld 4 als 4. Variante zum Einsatz. Als Vergleich zu den Werten, die dieses Gerät lieferte, wurde die Bodenfeuchtigkeit der entsprechenden Bodenschichten (0 - 30 cm und 0 - 60 cm) sowie die Saugspannung der Zuckerrübenblätter laufend bestimmt.

2. Der Wasserhaushalt des Bodens

2.1. Die Wasserhaushaltskennwerte

Die Mittelwerte der 8 parallel laufenden Bestimmungen für das Jahr 1973 sind in der Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11: Die Wasserhaushalts-Kennwerte 1972

a) Feld 4 (Sandboden)

Boden- tiefe cm	Trocken- raum- gewicht g/cm ³	Feldkapazität		Totes Boden- wasser mm	nutzbare Feldka- pazität mm
		Gewicht %	Volumen %		
		mm	mm		
0-10	1,46	14,43	21,07	5,02	16,05
10-20	1,49	14,32	21,30	5,41	15,89
20-30	1,48	12,99	19,32	5,29	14,03
30-40	1,54	10,12	15,58	3,69	11,89
Σ 0-40			77,27	19,41	57,86
Ø 0-40	1,49	13,32	19,32	4,85	14,97
40-50	1,55	9,88	15,27	4,14	11,13
50-60	1,53	10,05	15,41	8,23	7,18
Ø 40-60	1,54	9,97	15,34	6,19	9,16

b) Feld 2 (Sandboden)

0-10	1,34	12,34	17,65	3,82	13,83
10-20	1,46	11,86	17,32	3,81	13,51
20-30	1,51	10,60	16,01	3,53	12,48
30-40	1,55	8,61	13,34	2,42	10,92
Σ 0-40			64,32	13,58	50,74
Ø 0-40	1,47	10,85	16,08	3,46	12,69
40-50	1,61	9,60	13,01	4,12	8,89
50-60	1,58	8,97	15,17	8,20	6,97
Ø 40-60	1,60	9,29	14,09	6,16	7,93

c) Feld im Kollenbruch, oben (humoser Lehm)

0-10	1,60	18,29	29,3	12,12	17,28
10-20	1,59	17,93	28,5	12,14	16,38
20-30	1,58	16,85	26,7	12,30	14,40
30-40	1,39	16,08	22,3	8,75	13,57
Σ 0-40			106,8	45,31	61,63
Ø 0-40	1,54	17,29	26,7	11,33	15,41
Ø 40-60	1,39	14,04	19,5	5,93	13,57

2.2. Die Bodenfeuchtigkeit

Die Bodenfeuchtigkeit wurde auf sämtlichen Versuchsschlägen für alle Varianten bestimmt.

ad A: Feld 4 (Sandboden)

Der Verlauf der Bodenfeuchtigkeit der vier untersuchten Varianten während der Vegetationszeit 1973 ist in den Abbildungen 13 und 14 und in Tabelle 12 (s. Anhang) wiedergegeben.

Das Frühjahr des Jahres 1973 war durch Trockenheit gekennzeichnet, und die erste Bodenfeuchteuntersuchung wurde bereits am 27.4.1973, am Tag der Aussaat, vorgenommen. Aufgrund dieser trockenen Witterung lag der Bodenfeuchtegehalt der 0 - 40 cm tiefen Bezugsschicht bei 49,5 % der nutzbaren Feldkapazität, so daß bereits am 28.4.1973 eine Beregnung der Variante R_2 (50 % der nFK) stattfinden mußte. Ihr wurden wie auch bei allen weiteren Regengaben stets 30 mm verabreicht, die für die Auffüllung der vollen Feldkapazität notwendig waren.

Mitte Juni wurden bei allen drei Varianten (R_1 , R_2 , R_3) Beregnungen notwendig, da die Bodenfeuchtigkeit infolge der Trockenheit und sehr hoher Temperaturen bis zu ihrem Grenzwert absank. Die Variante R_1 (Wetteramt) wurde zum ersten Mal am 17.6.1973 mit 18 mm beregnet. Die Bodenfeuchte ergab vor der Beregnung von R_1 (Wetteramt) folgende Werte:

0-40 cm Tiefe	48 % der nutzbaren Feldkapazität
0-60 cm Tiefe	65 % der nutzbaren Feldkapazität

Im Anschluß an die Beregnung wurden folgende Werte gemessen:

0-40 cm Tiefe	70 % der nutzbaren Feldkapazität
0-60 cm Tiefe	86 % der nutzbaren Feldkapazität

Bei der Regenstufe R_3 (Irrometer) zeigte am 16.6.1973 das "kleine" Gerät (30 cm Tiefe) einen Wert von 55 Einheiten und das "große" (60 cm Tiefe) einen Wert von 22 Einheiten an. Beregnet wurde die Variante R_3 (Irrometer) am 17.6.1973 mit 35 mm, wobei nur die Werte des "kleinen" Irrometers Berücksichtigung fanden. Wie schon anfangs erwähnt wurde, erfolgten bei R_3 (Irrometer) auch regelmäßige Entnahmen von Bodenproben, um Vergleiche mit den Irrometerwerten anstellen zu können. Diese Bodenproben ergaben vor der Beregnung von R_3 (Irrometer) folgende Bodenfeuchtigkeitswerte:

0-30 cm Tiefe	36 % der nutzbaren Feldkapazität
0-40 cm Tiefe	41 % der nutzbaren Feldkapazität
0-60 cm Tiefe	50,5 % der nutzbaren Feldkapazität

ABB. 12 Groß-Gerau 1972 Zuckerrüben (FELD D)
Witterungsverlauf, Saugspannung und Bodenfeuchte
bei verschiedenen Berechnungsmethoden

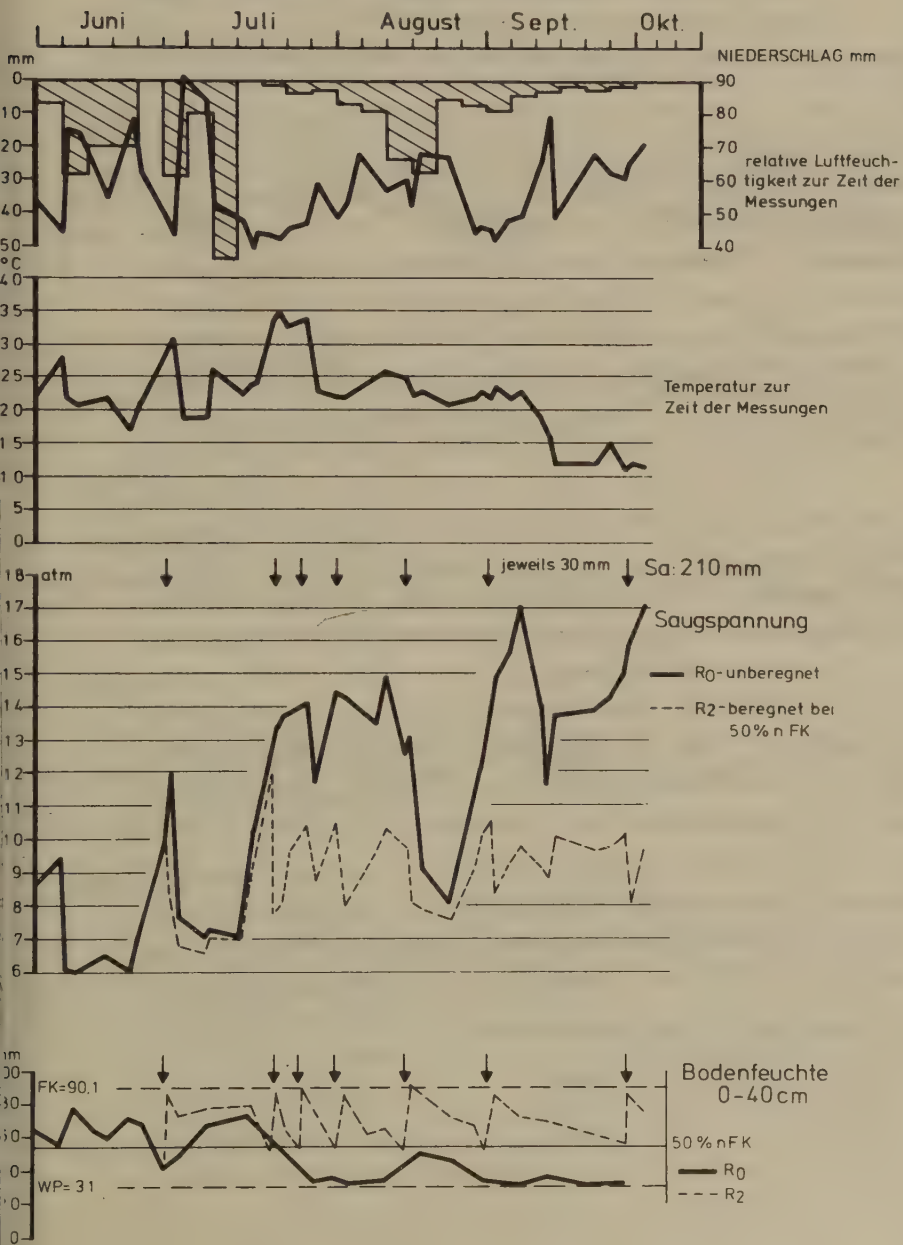
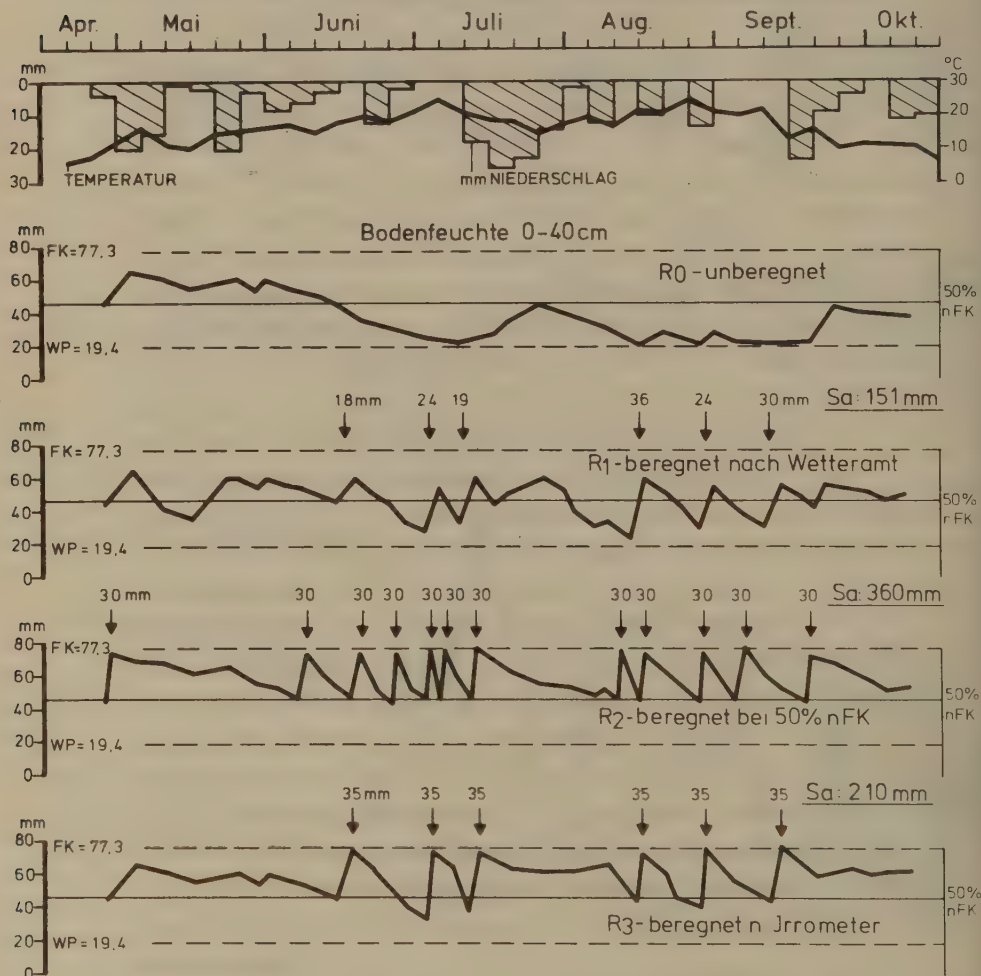


ABB.13 Groß-Gerau 1973 Zuckerrüben [FELD 4]

Witterungs- und Bodenfeuchte bei verschiedenen Berechnungsmethoden 0-40cm



Nach der Berechnung wurden folgende Werte gemessen:

0-30 cm Tiefe	95 % der nutzbaren Feldkapazität
0-40 cm Tiefe	94 % der nutzbaren Feldkapazität
0-60 cm Tiefe	98 % der nutzbaren Feldkapazität

Zum Vergleich dazu zeigten die Irrrometer in der Tiefe von 30 cm den Wert 0 und in der Tiefe von 60 cm den Wert 19 an.

Der weitere Verlauf der Bodenfeuchtigkeit und der Irrrometerwerte (R_3) sind in der Graphik 15 und in der Tabelle 13 (s. Anhang) gegenübergestellt. Aufgrund der trockenen Witterung waren die Pflanzen der Variante R_0 (unberechnet) in ihrem Wuchs weit hinter denen der anderen drei Varianten zurückgeblieben. Ihre Blätter waren bis auf einige jüngere verwelkt und lagen wie Herbstlaub auf dem Boden, denn es war kaum noch pflanzennutzbares Wasser im Boden verfügbar. Der Bodenfeuchtegehalt war sehr niedrig und lag am 9.7.1973 bei einem Wert von 8,5 % der nutzbaren Feldkapazität. Die Ursache für diesen niedrigen Wassergehalt war eine starke Evaporation, da die Reihen nicht geschlossen waren.

Im August war die Witterungslage ähnlich der im Juni, trocken und zeitweise mit überdurchschnittlichen Temperaturen. Eine Berechnung der Variante R_1 (Wetteramt) mit 36 mm wurde am 14.8.1973 notwendig. Vor der Berechnung wurden folgende Bodenfeuchtegehaltswerte gemessen:

0-40 cm Tiefe	10,2 % der nutzbaren Feldkapazität
0-60 cm Tiefe	28,7 % der nutzbaren Feldkapazität

Nach der Berechnung lagen die Werte bei:

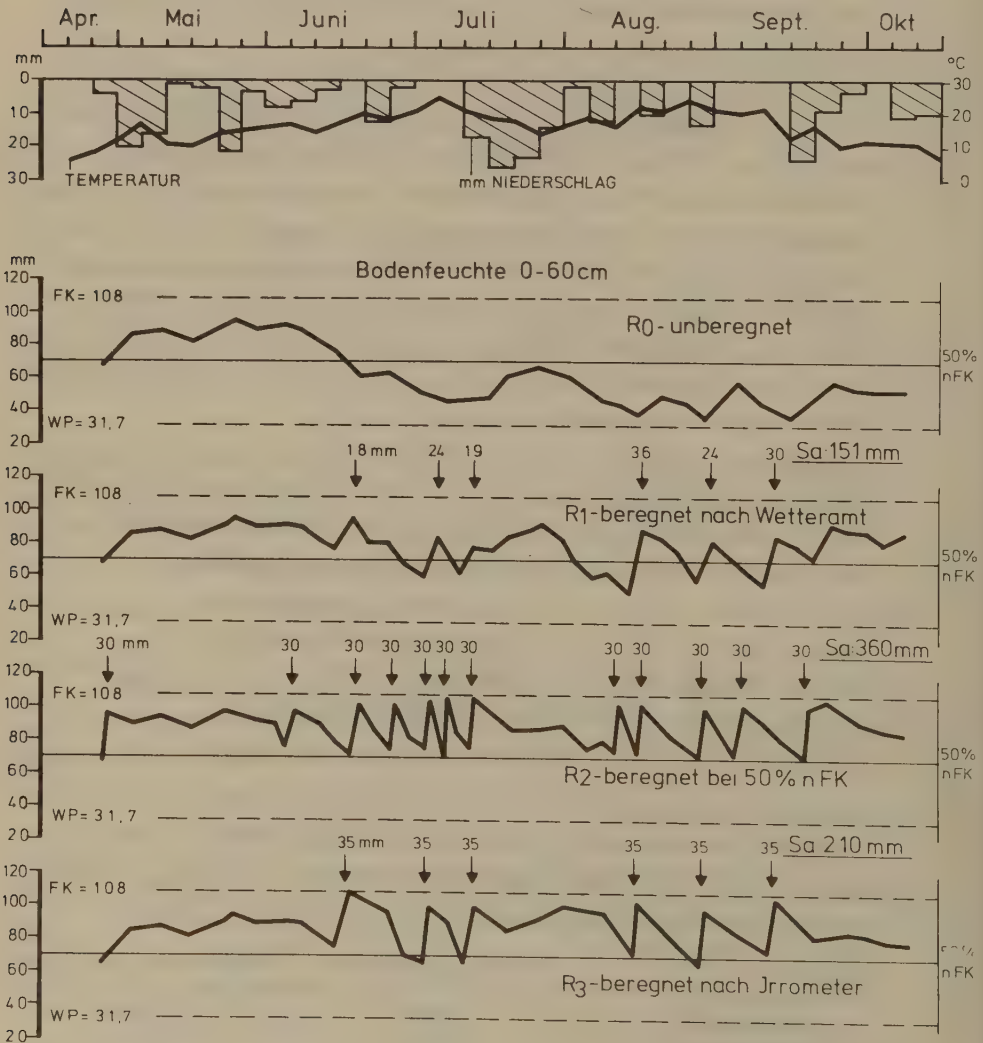
0-40 cm Tiefe	71 % der nutzbaren Feldkapazität
0-60 cm Tiefe	76,4 % der nutzbaren Feldkapazität

Die letzte Berechnung der Variante R_2 (50 % der nFK) erfolgte am 19.9.1973. Da in diesem Versuchsjahr zahlreiche Berechnungseinsätze notwendig waren, ist der Übersicht halber an dieser Stelle eine kurze Tabelle der Berechnungsmaßnahmen eingeschoben:

Varianten	Berechnungseinsätze	Regenmengen (Gesamt)
R_1 (Wetteramt)	6mal	151 mm
R_2 (50 % der nFK)	12mal	366 mm
R_3 (Irrrometer)	6mal	210 mm

ABB.14 Groß-Gerau 1973 Zuckerrüben [FELD 4]

Witterungs- und Bodenfeuchte bei verschiedenen Berechnungsmethoden 0-60cm



ad B: Feld 2 (Sandboden)

Einen graphischen Überblick der Bodenfeuchtigkeit gibt die Abbildung 16 und die Tabelle 14 (s. Anhang).

Durch das relativ trockene Frühjahr 1973, dem auch ein verhältnismäßig niederschlagsarmer Winter vorausgegangen war, lag zu Beginn der Untersuchungen auf diesem Feld die Bodenfeuchtigkeit mit 51,5 % der nutzbaren Feldkapazität schon sehr nahe an ihrem Grenzwert, so daß bereits am Tage der Aussat, 27.4.1973, eine Beregnung der Variante R_2 (50 % der nFK) stattfinden sollte. Jedoch mußte der Beregnungseinsatz wegen des Ausfalles der Beregnungsanlage verschoben werden, da der für die Anlage benötigte Grundwasserspiegel im Brunnen zu weit abgesunken war.

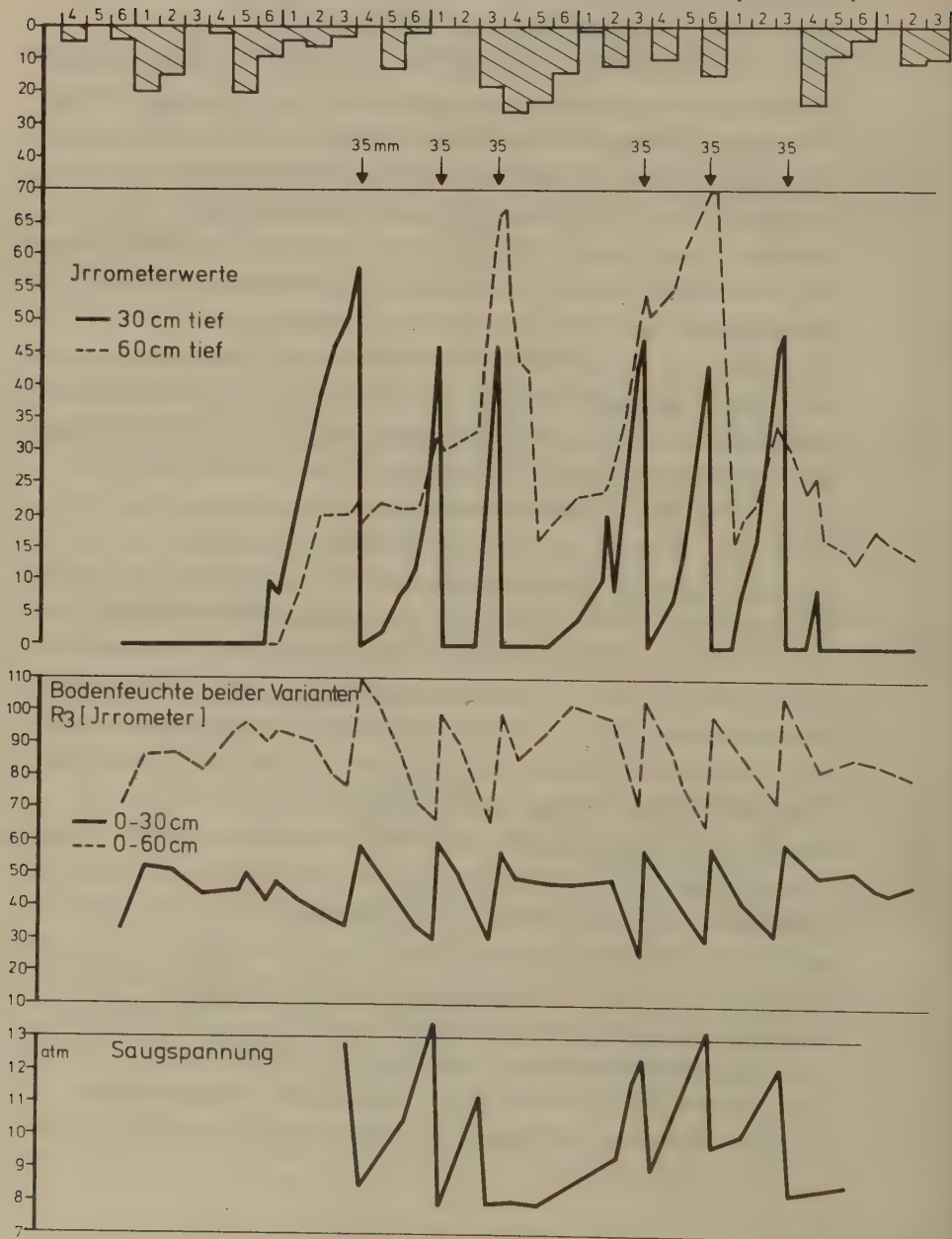
Die automatische Beregnungsanlage der Variante R_1 (Automatik) konnte bis zur Fertigstellung des neuen Brunnens Ende Juli aus technischen Gründen leider nicht zum Einsatz gebracht werden. Die erste automatisch gesteuerte Beregnung von R_1 (Automatik) erfolgte demnach erst am 1.8.1973.

Am 4.6.1973 sank die Bodenfeuchtigkeit der Variante R_2 (50 % der nFK) bis auf ihren Grenzwert ab. Daraufhin erfolgten im Zeitraum vom 6.6. - 26.6.1973 insgesamt drei Beregnungen der Variante R_2 (50 % der nFK) mit jeweils 25 mm. Zu diesem Zeitpunkt unterschieden sich die Pflanzen der Variante R_1 (Automatik) und R_2 (50 % der nFK) schon sehr voneinander. Aufgrund des Ausfalles der Beregnungsanlage von R_1 (Automatik) lag deren Bodenfeuchtigkeit im Bereich der 0-40 cm tiefen Bodenschichten bei 19 % der nutzbaren Feldkapazität, im Bereich der 0-10 cm tiefen Schicht war sogar kein nutzbares Wasser mehr vorhanden.

Während der zweiten Julihälfte wurde die Trockenwetterperiode von einer niederschlagsreichen Zeit unterbrochen, wodurch sich bei der Variante R_0 (unberegnet) der Bodenfeuchtegehalt der 0-40 cm tiefen Bodenschichten auf 46 % der nutzbaren Feldkapazität erhöhte. Die Bodenfeuchtemessungen der 40-60 cm tiefen Schichten ergaben jedoch einen geringen Wert von 17,4 % der nutzbaren Feldkapazität. Im Monat August war es wieder warm und trocken, und sogleich sank die Bodenfeuchtigkeit von R_0 (unberegnet) im 0-40 cm tiefen Bereich bis auf 4,3 % der nutzbaren Feldkapazität ab.

Die letzte Beregnung der Variante R_2 (50 % der nFK) erfolgte für dieses

ABB.15 Groß-Gerau 1973 Zuckerrüben [FELD 4]
 Irrrometerwerte, Bodenfeuchte und Saugspannung bei Variante R3
 [Irrrometer]



Versuchsjahr am 19.9.1973 mit 25 mm. Insgesamt wurde die Variante R_2 (50 % der nFK) 11mal mit jeweils 25 mm (= 275 mm) beregnet.

Wie schon weiter oben erwähnt wurde, kam die automatische Beregnungsanlage im Gegensatz zum Vorjahr erst am 1.8.1973 zu ihrem ersten Einsatz. Von diesem Zeitpunkt an funktionierte die Anlage ohne Störungen. Sie schaltete sich täglich mehrere Male ein und aus. Die Dauer zwischen den einzelnen Beregnungseinsätzen war abhängig von den jeweils herrschenden Temperaturen. Zum Beispiel bei höheren Temperaturen während der Mittagszeit lagen die Abstände bei ca. 10 Minuten, während bei sinkenden Graden die Abstände immer länger wurden. Die Beregnungsdauer allerdings betrug immer 2 Minuten. Leider können über die jeweiligen Beregnungsmengen keine Aussagen gemacht werden, da aufgrund der Windverhältnisse sehr unterschiedliche Wassermengen mit dem Regenmesser festgestellt wurden. Die Bodenfeuchte der Variante R_1 (Automatik) war in der Zwischenzeit bis auf 54,7 % der nutzbaren Feldkapazität angestiegen. Zu der automatischen Beregnungsanlage ist noch anzumerken, daß sie sich aufgrund der niedrigen Temperaturen im September nur noch sehr selten einschaltete, obwohl im allgemeinen eine trockene Witterung herrschte.

ad C: Feld im Kollenbruch, oben (humoser Lehm)

Einen graphischen Überblick über den Verlauf der Bodenfeuchtigkeit geben die Abbildungen 17 und 18 sowie die Tabelle 15 (s. Anhang).

Im Gegensatz zu den Versuchen auf dem Feld 4 (Sandboden) und auf dem Feld 2 (Sandboden) wurde die Aussaat auf diesem Feld (humoser Lehm) bereits vier Tage früher vorgenommen. Zu Beginn der Messungen lag die Bodenfeuchtigkeit mit 76,9 % der nutzbaren Feldkapazität relativ hoch. Gegenüber den beiden anderen Versuchsflächen war hier der erste Beregnungseinsatz der Variante R_2 (60 % der nFK) erst am 18.6.1973 mit 25 mm erforderlich, da der hier vorherrschende schwere Boden ein besseres Wasserhaltevermögen besitzt, als dies bei sandigen Böden der Fall ist. Die Variante R_1 (Wetteramt) erhielt drei Tage später, am 21.6.1973, ihre erste Regengabe mit 19 mm. An dieser Stelle muß erwähnt werden, daß Anfang Mai viele Pflanzen, besonders bei der Variante R_2 (60 % der

ABB. 16 Groß-Gerau 1973 Zuckerrüben [FELD 2]
Witterung und Bodenfeuchte bei verschiedenen Beregungsmethoden 0-40cm

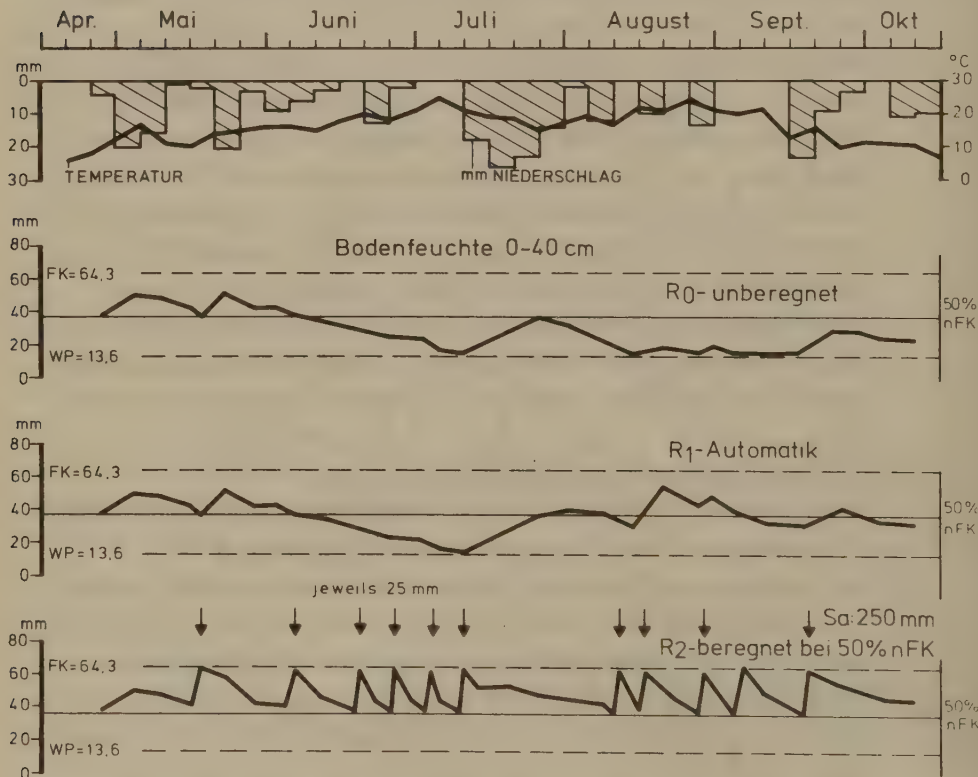
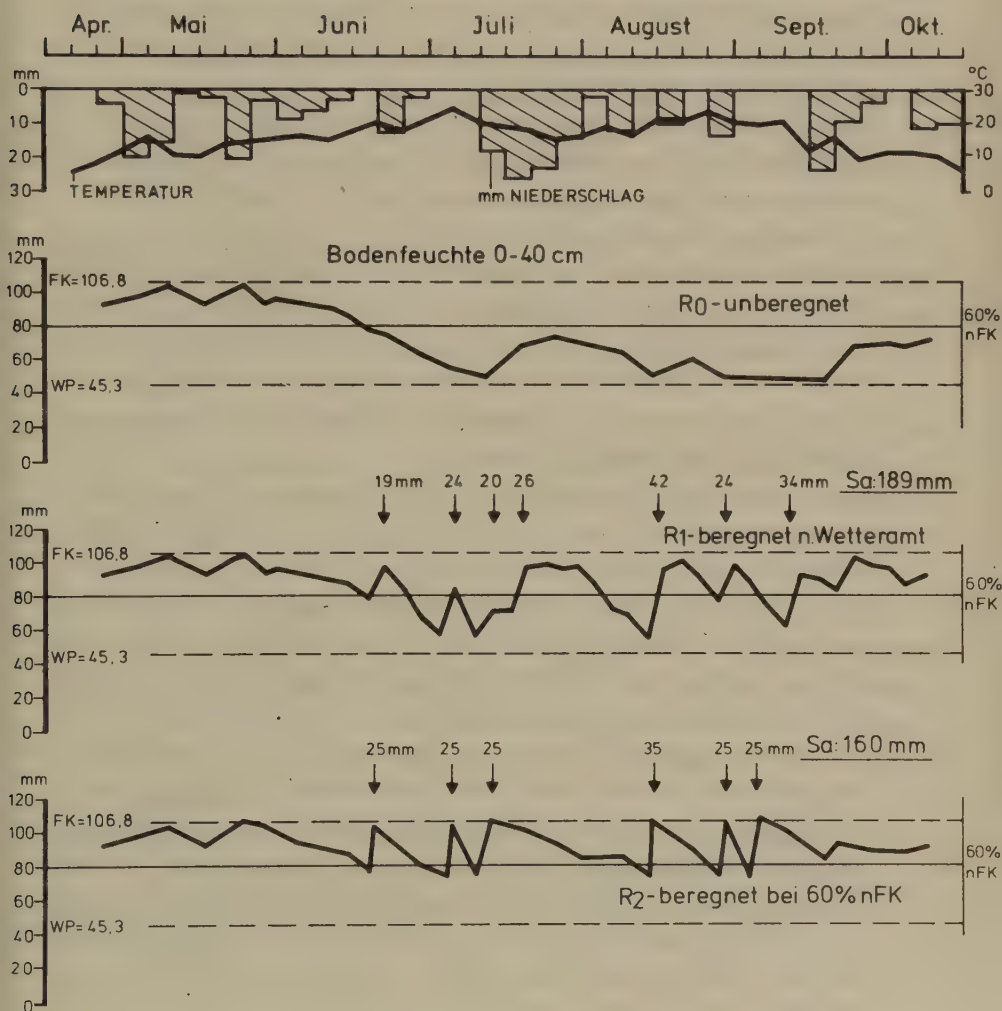


ABB. 17 Groß-Gerau 1973 Zuckerrüben [FELD KOLLENBRUCH]
Witterungs- und Bodenfeuchte bei verschiedenen Berechnungsmethoden 0-40 cm



nFK), durch auftretende Nachtfröste stark in Mitleidenschaft gezogen wurden. Aufgrund dessen wurden Umpflanzungen gesunder Pflanzen auf diesem Feld im Kollenbruch vorgenommen. Dies wirkte sich dementsprechend natürlich nachteilig auf den Ertrag aus, was in der noch folgenden Ertragstabelle nachgelesen werden kann.

Aufgrund hoher Temperaturen und fehlender Niederschläge Anfang Juli wurden am 4. 7. 1973 die beiden Varianten R_1 (Wetteramt) und R_2 (60 % der nFK) mit jeweils 24 bzw. 25 mm beregnet. Beide Varianten wurden eine Woche später abermals beregnet, und zwar R_1 (Wetteramt) mit 20 mm und R_2 (60 % der nFK) mit 25 mm. Die Messung des Bodenfeuchtegehaltes bei der Variante R_0 (unberegnet) ergab am 4. 7. 1973 einen Wert von 17,6 % der nutzbaren Feldkapazität. Durch den großen Wassermangel dieser unberegneten Variante machten die Pflanzen einen recht kümmerlichen Eindruck, und ein Unterschied zwischen den beregneten und nicht beregneten Varianten war kaum mehr zu übersehen.

Allgemein war die Bodenfeuchtigkeit der 40-60 cm tiefen Bodenschichten immer niedriger als in den oberen Schichten, was auf die sandige Beschaffenheit der unteren Horizonte zurückzuführen ist. Bei der Variante R_1 (Wetteramt) wurde am 19. 7. 1973 die vierte Regengabe mit 26 mm verabreicht. Unmittelbar nach dieser Beregnung setzte eine niederschlagsreiche Zeit ein, wodurch die Bodenfeuchte von R_0 (unberegnet) bis zum 25. 7. 1973 44,8 % der nutzbaren Feldkapazität erreichte.

Der trockene und relativ warme August verminderte die Bodenfeuchtigkeit. Die letzte Regengabe mit 25 mm erhielt die Variante R_2 (60 % der nFK) am 5. 9. 1973. An diesem Tag erreichte die Bodenfeuchte von R_0 (unberegnet) ihren niedrigsten Wert von 6 % der nutzbaren Feldkapazität. Die letzte Beregnung für das Versuchsjahr 1973 erfolgte am 13. 9. 1973 bei der Variante R_1 (Wetteramt) mit 34 mm. Insgesamt wurde die Variante R_1 (Wetteramt) 7mal mit 189 mm beregnet. Die Variante R_2 (60 % der nFK) erhielt 6mal Regengaben mit insgesamt 160 mm.

2.3. Der Wasserverbrauch des Rübenbestandes

Einen genauen Überblick über den Wasserverbrauch der 0-60 cm tiefen Bodenschichten während der Vegetationsperiode 1973 geben die Abbildungen 19 bis 23 sowie die Tabelle 16 (s. Anhang).

Aufgrund der höheren Beregnungsmengen und der höheren Erträge lag auch der Wasserverbrauch des Rübenbestandes im Jahr 1973 weit höher als im Vorjahr. Dabei muß berücksichtigt werden, daß beim Wasserverbrauch Transpiration und Evaporation beteiligt sind, wobei in diesem Jahr besonders vor der Reihenschließung der Evaporation ein etwas größeres Gewicht zukommt; denn vor dem Reihenschluß (Juni/Juli) erfolgten mehrere Beregnungseinsätze. Der Variante R_1 (Wetteramt) wurden 42 mm, der Variante R_2 (50 % der nFK) 120 mm und der Variante R_3 (Irrrometer) 70 mm verabreicht.

Auch bei der Variante R_0 (unberechnet) war die Evaporation sehr groß, da die Massenbildung der Pflanzen bis zum Erntetermin nicht ausreichte, um den Boden vollständig abzudecken. Insgesamt betrug der Wasserverbrauch der Variante R_0 (unberechnet) 286 mm! Er lag damit um 47 mm niedriger als im Vorjahr.

Bei der Variante R_1 (Wetteramt) ergaben die Errechnungen des Wasserverbrauchs einen Wert von 368 mm für den gesamten Vegetationszeitraum. Der Wasserverbrauch der nach Irrrometer berechneten Variante R_3 betrug insgesamt 482 mm. Der für dieses Versuchsjahr höchste Verbrauch an Wasser mit insgesamt 608 mm wurde bei der Variante R_2 (50 % der nFK) festgestellt.

Der niedrige Ertrag von R_0 (unberechnet) resultiert auch in diesem Jahr aus der kleinen Assimilationsfläche der Pflanzen, deren Ursache sowohl in dem Wassermangel als auch in der geringen Anzahl der Blätter zu suchen ist.

ABB.18 Groß-Gerau 1973 Zuckerrüben [FELD KOLLENBRUCH]
Witterungs-und Bodenfeuchte bei verschiedenen Berechnungsmethoden 0-60cm

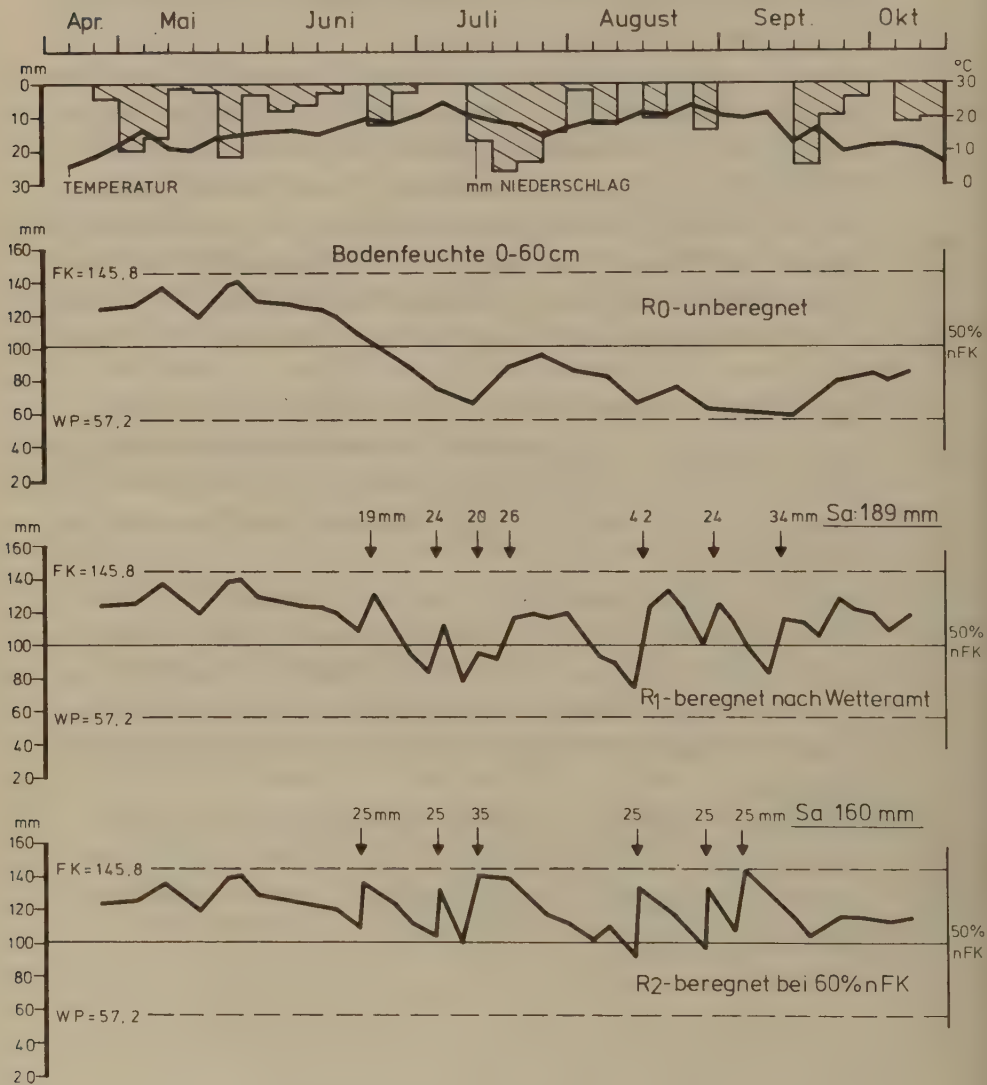


ABB:19 Groß-Gerau 1973 [FELD 4]

Wasserverbrauch, berechnet auf Grund der Wasserbilanz bei verschiedenen Berechnungsmethoden bei Zuckerrüben in mm [0-60 cm]

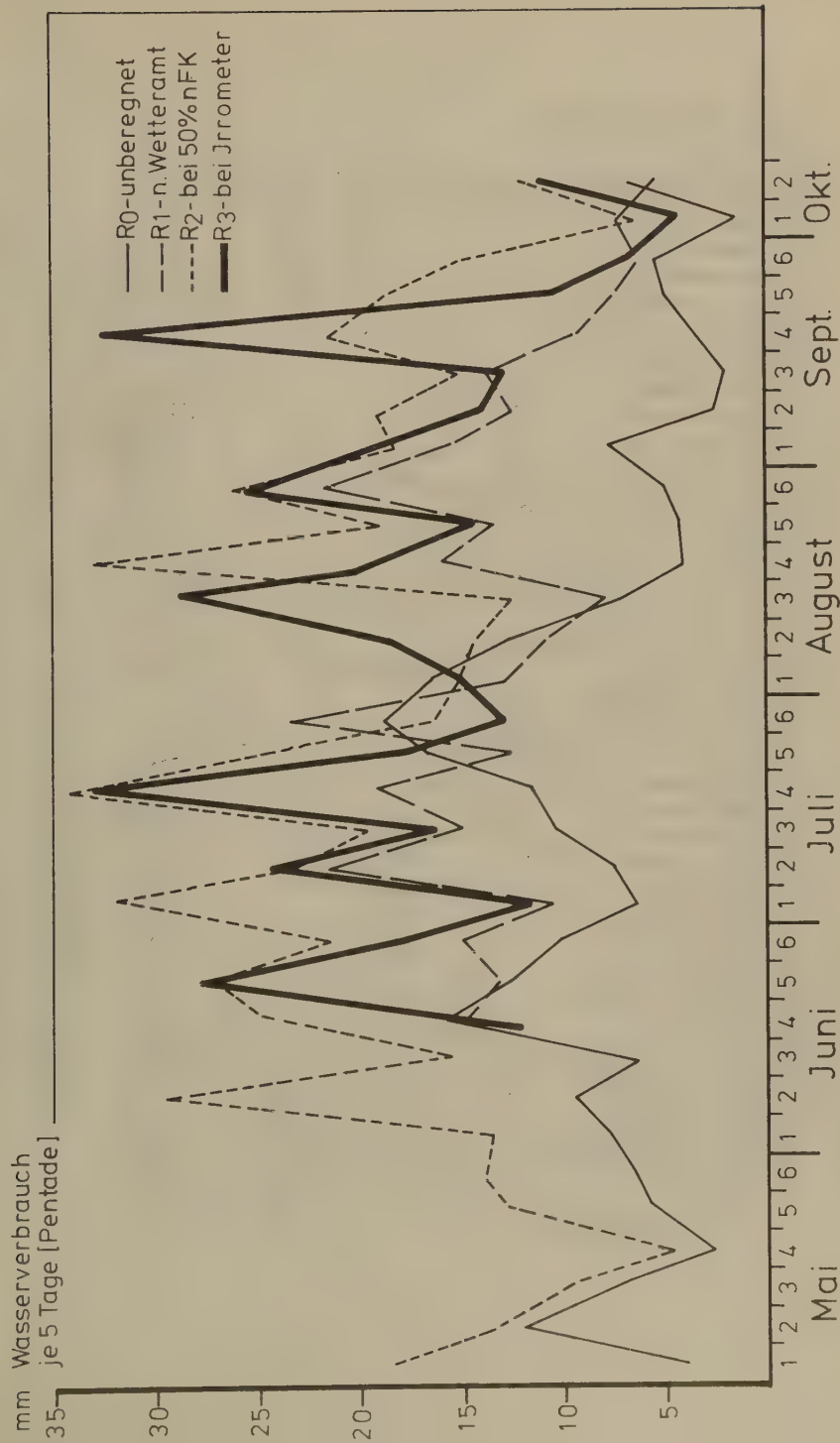


ABB. 20

Änderung des mittleren täglichen Wasserverbrauches und N/V-Quotienten
[Pentadenwerte] bei Zuckerrüben im Laufe der Vegetation 1973
Variante R0 - unberechnet

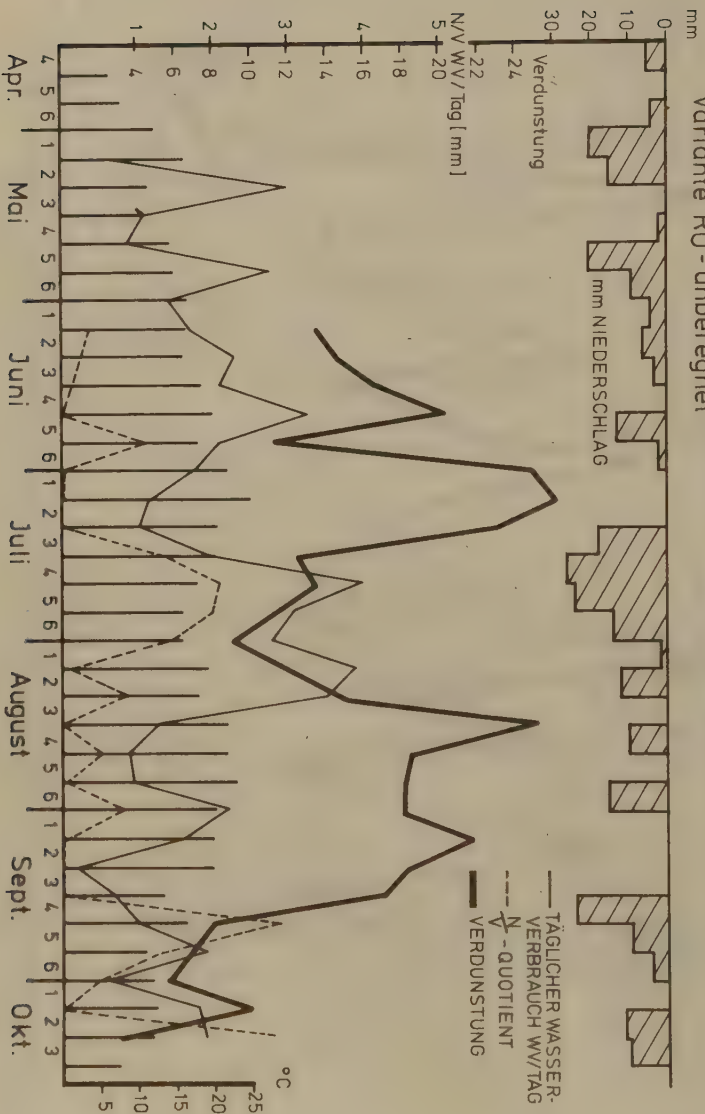
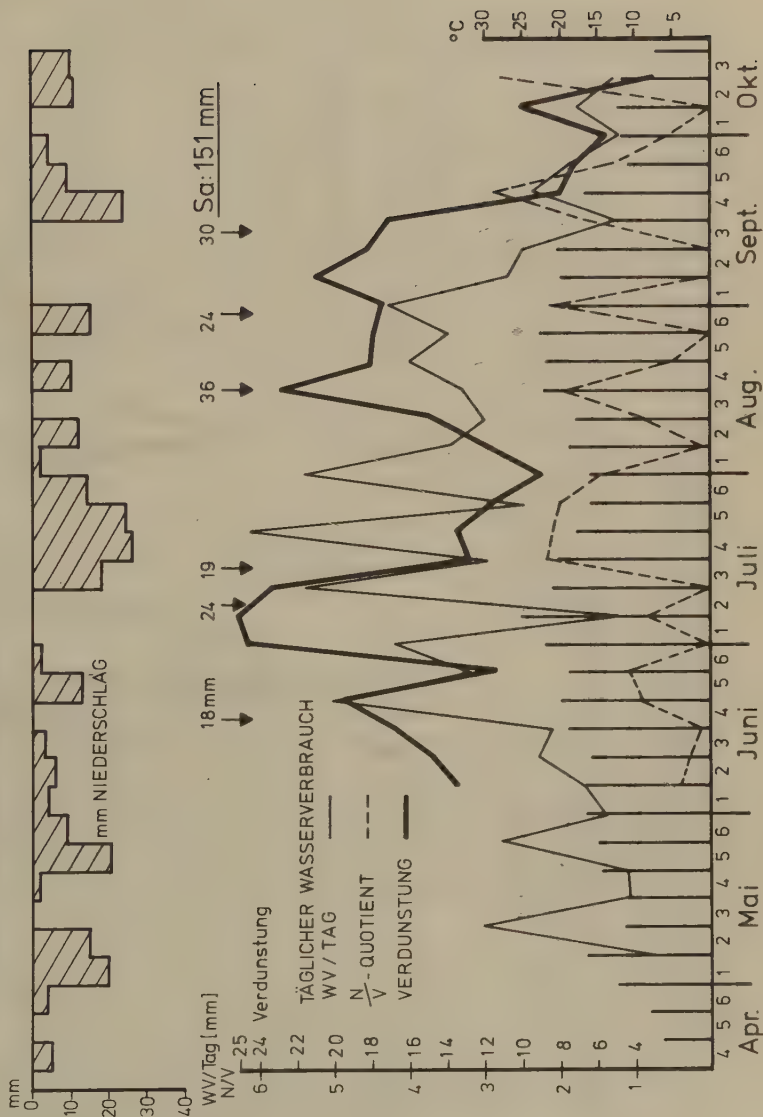


ABB: 21

Änderung des mittleren täglichen Wasserverbrauches und N/V-Quotienten
[Pentadenwerte] bei Zuckerrüben im Laufe der Vegetation 1973
Variante R₁, berechnet nach Wetteramt



Änderung des mittleren täglichen Wasserverbrauches und N/V-Quotienten
[Pentadenwerte] bei Zuckerrüben im Laufe der Vegetation 1973
Variante R2, berechnet bei 50 % nFK

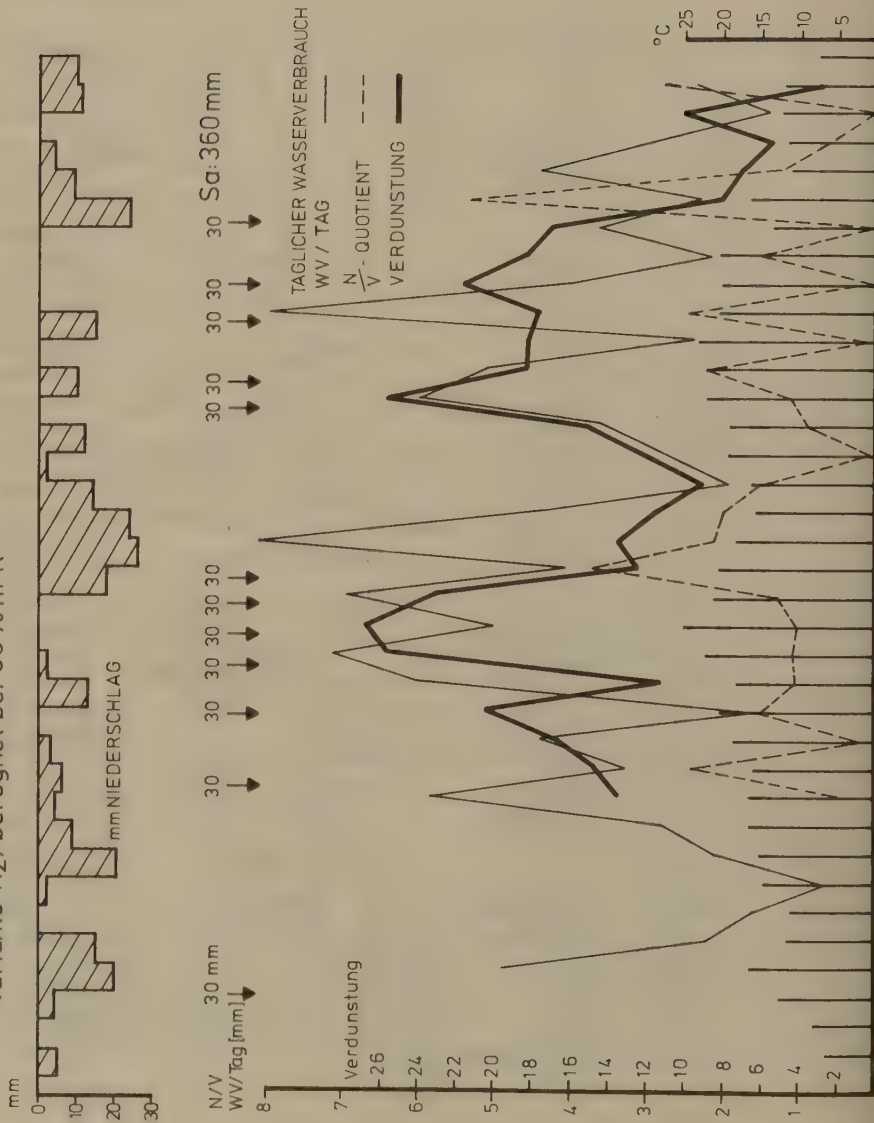


Tabelle 17: Feldversuch mit Zuckerrüben 1973
Wasserverbrauch, Frischmasseerträge (Relativwerte),
gesamte Trockenmasseerträge und Wasserverwertung

Varian- ten	Blatt rel.	Rübe rel.	Gesamt rel.	Wasser- verbrauch rel.	Gesamt- TM-Er- trag dz/ha	Wasser- verwertung kg TM/mm
R ₀ (unbe- regnet)	100	100	100	100	62,8	24,6
R ₁ (Wetter- amt)	328	326	327	134	189,7	46,8
R ₂ (50 % d. nFK)	453	552	499	216	295,7	53,3
R ₃ (Irro- meter)	418	468	442	161	255,7	55,0

3. Der Wasserhaushalt der Pflanzen

Während der Vegetationsperiode 1973 wurden die Ermittlungen zum Wasserhaushalt der Pflanze auf dem Feld 4 (Sandboden) mit den 3 Varianten R₀ (unberegnet), R₂ (50 % der nFK) und R₃ (Irrometer) durchgeführt. Wie im Vergleichsjahr 1972 wurden folgende zwei Methoden angewendet:

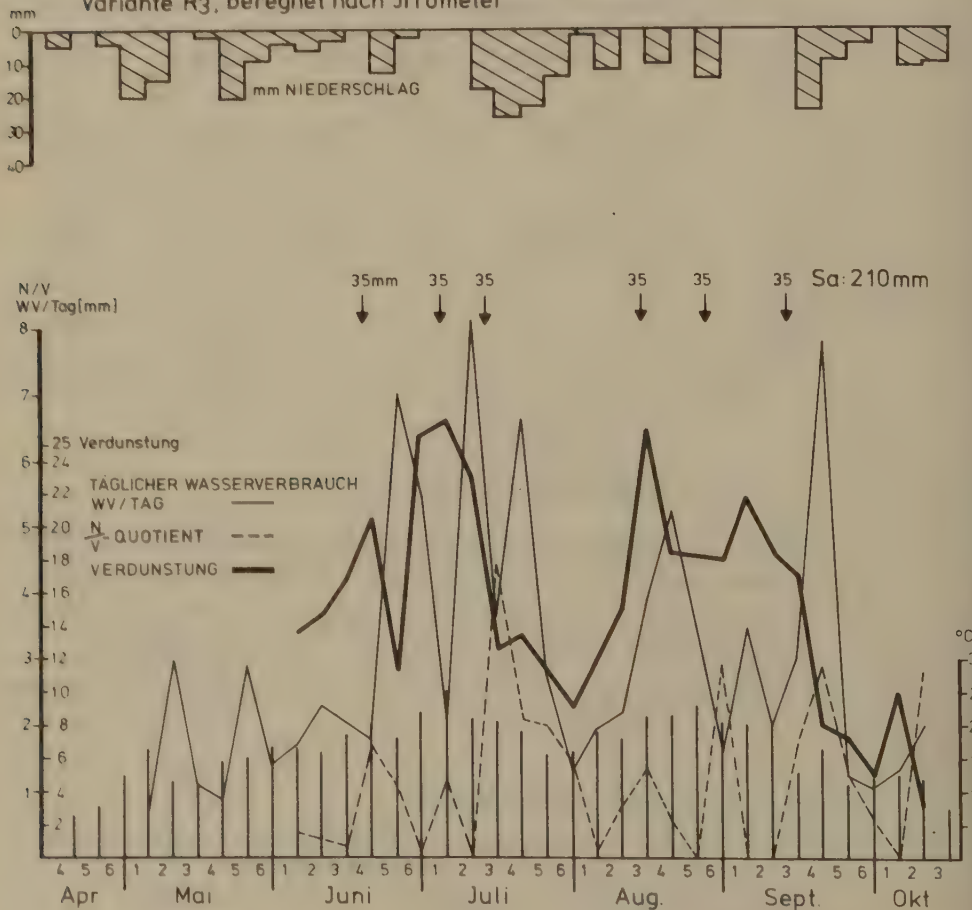
a) Die Saugspannung des Blattes (SCHARDAKOV) und b) Der Öffnungszustand der Stomata (Indipa-Methode).

3.1. Die Saugspannung des Blattes

Vergleichshalber sind die Werte der Blattsaugspannung, der Bodenfeuchtigkeit und des Witterungsverlaufes (Niederschlag, Temperatur, rel. Luftfeuchtigkeit) in der Graphik 24 und in der Tabelle 18 (s. Anhang) aufgeführt.

ABB 23

Anderung des mittleren täglichen Wasserverbrauches und N/V-Quotienten
[Pentadenwerte] bei Zuckerruben im Laufe der Vegetation 1973
Variante R3, berechnet nach Jrrrometer



Nachdem die Pflanzen für die Blattprobenentnahmen etwa Mitte Juli 1973 groß genug waren, konnte mit den regelmäßigen Untersuchungen zur Bestimmung der Blattsaugspannung begonnen werden. Beim Vergleich der Varianten R_0 , R_2 und R_3 war zu diesem Zeitpunkt schon ein deutlicher Unterschied zu beobachten, da die Pflanzen von R_2 (50 % der nFK) und R_3 (Irrometer) bereits berechnet worden waren.

Am 19.6.1973 erfolgten bei beiden Varianten R_2 und R_3 Berechnungen. Im Anschluß daran lag die Saugspannung von R_0 bei 14,8 atm, von R_2 bei 8,4 atm und von R_3 bei 8,5 atm. Die Ursache für diese sehr hohe Blattsaugspannung, nicht nur bei R_0 , war auf die trockene Witterung und die gleichzeitig herrschenden hohen Temperaturen zurückzuführen. Nicht immer läßt sich die gegenseitige Abhängigkeit der Blattsaugspannung und der Bodenfeuchte so gut erkennen wie im Versuchsjahr 1973, da in diesem Jahr eine besonders lang andauernde Schönwetterperiode herrschte.

Am 11.7.1973 war die Blattsaugspannung der Variante R_0 (unberechnet) bis auf 18,7 atm angestiegen, also weit über den konventionalen Welkepunkt von 15 atm hinaus. Anschließend fielen Niederschläge, so daß die Saugspannung bei R_0 (unberechnet) bis auf 11,0 atm absank. Aufgrund des recht warmen und trockenen Augustwetters zeigten die Blattsaugspannungswerte wieder steigende Tendenz, so daß am 28.8.1973 bei R_0 (unberechnet) ein Wert von 18,9 atm gemessen wurde, der zugleich auch der höchste in dieser Vegetationszeit war.

Die Witterungslage Mitte September, die durch hohe Luftfeuchtigkeit, niedrige Temperaturen und frühmorgendliche Taubildung gekennzeichnet war, ließ die Blattsaugspannung bei der Variante R_0 (unberechnet) bis auf 12 atm zurückgehen.

Einen genauen Überblick der Blattsaugspannungswerte unmittelbar vor und nach den Berechnungen sind im Zusammenhang mit den entsprechenden Umweltfaktoren in der Tabelle 19 aufgezeigt.

Außerdem sind in der Tabelle 19 die Irrometerwerte und die Blattsaugspannung gegenübergestellt. Wie anhand dieser Tabelle zu erkennen ist, nimmt mit steigenden Irrometerwerten zugleich auch die Blattsaugspannung zu.

Tabelle 19: Die Blattsaugspannung vor und nach den Berechnungen 1973

a) Variante R_2 (30 mm bei 50 % der nutzbaren Feldkapazität)

Datum	Saugspannung (atm)		Bodenfeuchte % nFK, 0-40 cm		Luft- feuchte %	T °C
	vor der Beregn.	nach der Beregn.	vor der Beregn.	nach der Beregn.		
19.6.	12,8	8,4	51	94	35	26
27.6.	10,3	7,9	46	94	33	31
3.7.	11,4	8,1	51	97	32	31
6.7.	11,3	8,2	42	99	43	28
12.7.	10,3	7,9	46	102	43	23
11.8.	12,6	7,9	47	99	30	27
16.8.	12,0	9,5	46	97	31	29
28.8.	12,0	9,3	44	98	61	26
6.9.	12,8	8,6	50	101	35	27
19.9.	12,2	9,1	45	94	46	23

b) Variante R_3 (35 mm bei Irrometer)

			Irrometerwerte vor der nach der Beregn. Beregn.			
18.6.	12,8	8,5	58	0	46	23
3.7.	13,5	7,9	46	0	32	31
12.7.	11,2	7,9	46	0	43	23
15.8.	12,4	9,1	47	0	29	28
28.8.	13,2	9,8	43	0	61	26
13.9.	12,2	8,3	48	0	37	25

3.2. Der Öffnungszustand der Stomata (Indipa-Methode)

Im Versuchsjahr 1973 wurde die Indipa-Methode auf dem Feld 4 (Sandboden) angewendet. Die Untersuchungen wurden an den Zuckerrüben der beiden Varianten R_0 (unberegnet) und R_2 (50 % der nFK) durchgeführt. Die Untersuchungen wurden wie bei der Blattsaugspannung am frühen Nachmittag

vorgenommen. Die Untersuchungsdauer betrug 10 Minuten mit 8 - 10 Wiederholungen. Obwohl die Untersuchungen immer an denselben markierten Testpflanzen erfolgten, kam es dennoch öfters zu Abweichungen, besonders bei der Variante R_2 (50 % der nFK) und relativ guter Wasserversorgung. Es wurde immer darauf geachtet, daß die Blätter trocken waren.

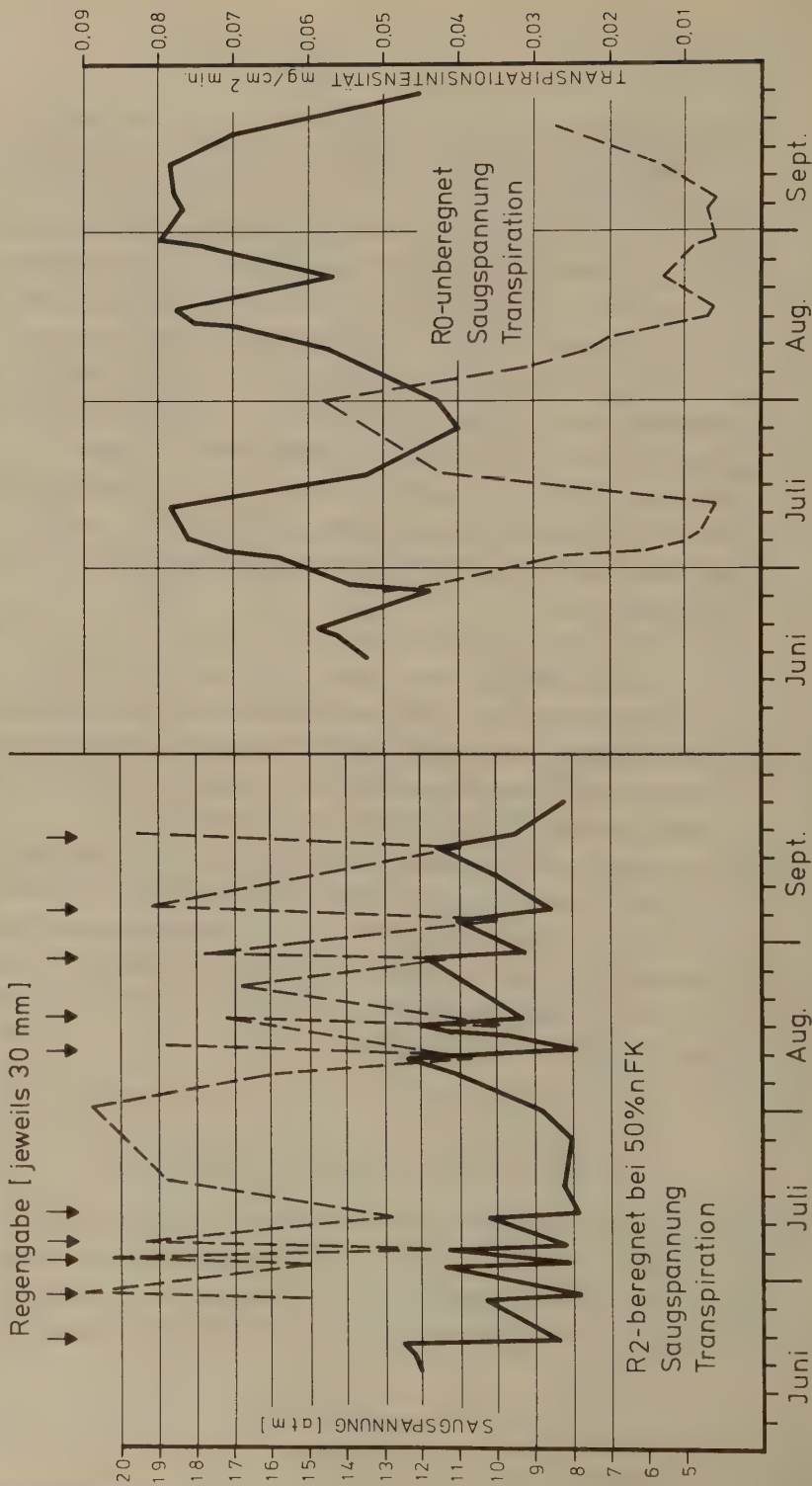
Bei der Anwendung der Methode während der Transpirationmessungen trat ein weiteres Problem auf, und zwar brachen die Testblätter, insbesondere der Zuckerrüben, ab. Dies hatte zur Folge, daß neue Testblätter ausgesucht werden mußten, deren absolute Transpirationswerte jedoch von denen der vorher benutzten abgebrochenen Blätter abwichen.

Im Verlauf der Untersuchung zeigte sich, daß die Transpirationsintensität auf Änderungen des Wasserzustandes in der Pflanze gut reagierte. Wie der Abbildung 25 zu entnehmen ist, nahm die Transpiration mit steigender Saugspannung ab.

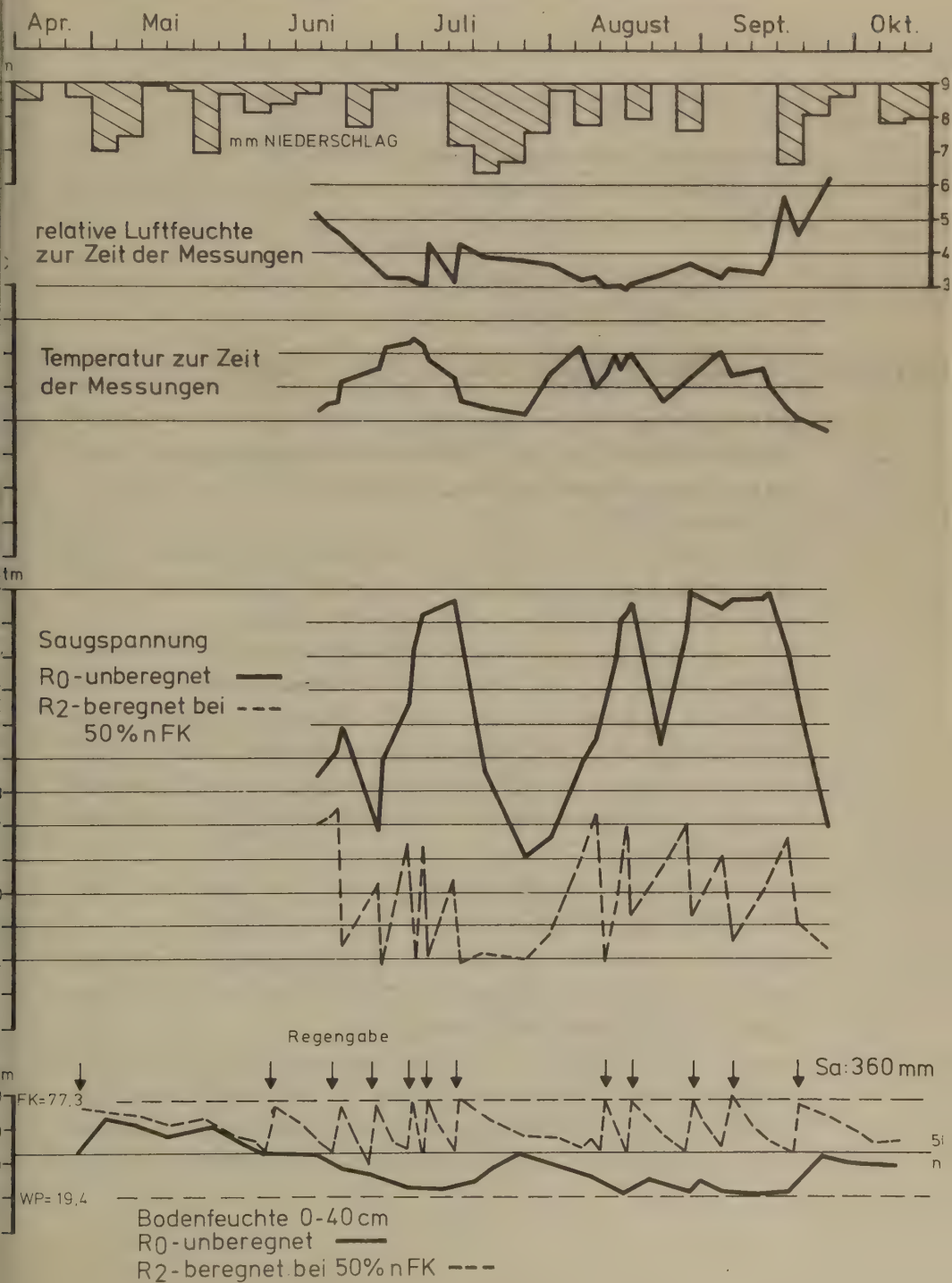
Bei der Variante R_0 (unberechnet) war die Transpiration am 11.7.1973 mit $0,006 \text{ mg/cm}^2 \text{ min}$ bereits minimal. Zu diesem Zeitpunkt lag der Blattsaugspannungswert bei R_0 (unberechnet) bei 18,7 atm. Je größer der Wassermangel bei R_0 (unberechnet) wurde, desto geringer wurde die Wasseraufnahme des Indipas, was auf die Schließung der Stomata zurückgeführt werden kann. Auch die Farbintensität ging stark zurück.

Vor und nach einer Beregnung wechselten die Werte der Variante R_2 (50 % der nFK), da der Bodenwassergehalt eine entscheidende Rolle bei der Transpirationsintensität spielt. Nach den Beregnungseinsätzen ergab sich jeweils eine gleichmäßige Gelbfärbung des Indipas. Bei der Variante R_2 (50 % der nFK) wurde nach der Beregnung am 2.7.1973 der Maximalwert von $0,091 \text{ mg/cm}^2 \text{ min}$ gemessen.

Vergleich der Jahreskurven der Saugspannung mit der Transpirationsintensität [JNDIPA METHODE]



Witterung, Bodenfeuchte und Saugspannung im Sandboden



VII. DIE ERTRÄGE DER VERSUCHSJAHRE 1972 und 1973

In den folgenden Erläuterungen werden die in den beiden Versuchsjahren 1972 und 1973 erzielten Erträge und deren Abhängigkeit von den verschiedenen benutzten Berechnungsmethoden untersucht.

1. Die Erträge des Versuchsjahres 1972

a) Feld D (Sandboden)

Auf Feld D wurden bei der Varianten R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität) sowohl an Frisch- als auch an Trockenmasse die höchsten Erträge erzielt, und zwar betrug der gesamte Ertrag an Frischmasse 1465 dz/ha und an Trockenmasse 285 dz/ha.

Wie zu erwarten war, waren die Ernteergebnisse der unberechneten Variante am niedrigsten, denn der gesamte Frischmasseertrag betrug nur 549 dz/ha bei einem gesamten Trockenmasseertrag von 100 dz/ha.

Wie anhand der Tabelle 20 zu erkennen ist, lagen der gesamte Frischmasseertrag mit 930 dz/ha und der gesamte Trockenmasseertrag mit 175 dz/ha der Variante R_1 (Wetteramt) unter denen der Regenstufe R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität). Die Ertragsunterschiede sind allein auf die Berechnung zurückzuführen, da die Variante R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität) insgesamt mit 210 mm beregnet wurde, die Variante R_1 (Wetteramt) dagegen nur mit 99 mm.

b) Feld 1 (Sandboden)

Auf Feld 1 wurden ebenso wie auf Feld D die höchsten Erträge an Frisch- und Trockenmasse mit insgesamt 977 dz/ha bzw. 172 dz/ha bei der Variante R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität) geerntet.

Anhand der Tabelle 21 ist zu beobachten, daß die Gesamterträge der Variante R_0 (unberechnet) höher lagen als diejenigen der Variante R_1 (Automatik). Der Grund für diese Mindererträge der Variante R_1 (Gesamtfrischmasse = 213 dz/ha, Gesamttrockenmasse = 39 dz/ha) war schon die eingangs unter

Tabelle 21:

Erträge des Feldversuches mit Zuckerrüben (Feld 1)

a) Frischmasse in dz/ha

Varianten	Rübe			Blatt			Gesamt			Zucker	
	mm	dz/ha	$\pm m$ dz/ha	rel.	dz/ha	$\pm m$ dz/ha	rel.	dz/ha	$\pm m$ dz/ha	%	rel.
R ₀ (unberegnet)	-	302	4,1	100	309	1,3	100	621	4,3	12,1	100
R ₁ (Automatik)	-	129	8,6	42	93	2,3	30	213	8,9	8,7	30
R ₂ (50 % d. nFK)	125	560	2,5	185	417	1,6	135	977	3,0	13,8	211

b) Trockenmasse in dz/ha

R ₀ (unberegnet)	-	53	4,3	100	53	1,1	100	107	4,4	100
R ₁ (Automatik)	-	23	8,3	40	17	2,5	32	39	8,4	36
R ₂ (50 % d. nFK)	125	98	2,1	177	73	1,5	139	171	2,2	149

Punkt V. erwähnte Pilzkrankheit. Wie aus der Tabelle 21 weiterhin zu ersehen ist, lagen die Gesamterträge an Frisch- und Trockenmasse der Variante R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität) um 157 % bzw. 171,5 % über denjenigen von R_0 (unberechnet).

c) Feld im Kollenbruch (humoser Lehm)

Auch auf dem Feld im Kollenbruch wurde ein deutlicher Mehrertrag an Frisch- und Trockenmasse bei der Variante R_2 (60 % der nutzbaren Feldkapazität) festgestellt.

Wie die Tabelle 22 zeigt, bestand zwischen den beiden anderen Varianten R_0 (unberechnet) und R_1 (Wetteramt) nur ein geringer Unterschied, da die Regenstufe R_1 aufgrund der Angaben des Wetteramtes Offenbach nur einmal mit 14 mm berechnet wurde.

Vergleicht man nun die beiden Varianten R_1 (Wetteramt) von Feld D und dem Feld im Kollenbruch, so läßt sich feststellen, daß der Gesamtertrag (930 dz/ha) von R_1 auf dem Feld D um 241 dz/ha über dem Gesamtertrag (688 dz/ha) derselben Variante auf dem Feld im Kollenbruch lag.

Für die Varianten R_2 derselben Felder ergab sich ein ähnliches Bild, d.h. der gesamte Ertrag von R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität) auf dem Feld D, der 1465 dz/ha betrug, lag um 453 dz/ha über dem gesamten Ertrag (992 dz/ha) der entsprechenden Variante des Feldes im Kollenbruch.

Tabelle 22:

Erträge des Feldversuches mit Zuckerrüben (Feld im Kollenbruch)

a) Frischmasse in dz/ha

Varianten	Rübe			Blatt			Gesamt			Zucker		
	mm	dz/ha	$\frac{+m}{dz}/ha$	rel.	dz/ha	$\frac{+m}{dz}/ha$	rel.	dz/ha	$\frac{+m}{dz}/ha$	%	dz/ha	rel.
R ₀ (unberegnet)	-	287	3,8	100	300	6,0	100	586	6,8	100	14,5	41,6
R ₁ (Wetteramt)	14	316	2,6	110	373	1,2	124	688	2,8	117	14,9	47,1
R ₂ (60 % d. nFK)	120	415	7,0	145	577	3,8	192	992	8,0	169	15,0	62,2

b) Trockenmasse in dz/ha

R ₀ (unberegnet)	-	65	4,1	100	51	5,3	100	117	5,5	100		
R ₁ (Wetteramt)	14	70	2,3	107	59	1,5	114	129	2,4	110		
R ₂ (60 % d. nFK)	120	86	7,3	131	92	3,6	178	177	7,5	151		

2. Die Erträge des Versuchsjahres 1973

Im Versuchsjahr 1973 wurden auf dem Sandboden bisher die höchsten Erträge seit Beginn der Beregnungsversuche im Jahre 1957 erzielt. Auch im Vergleich zu den besten Böden anderer Versuchsfelder lagen die Erträge sehr hoch, da sich die Konstellation aller Wachstumsfaktoren, insbesondere die klimatischen mit höheren Beregnungseinsätzen, sehr günstig auswirkte. Infolge der großen Trockenheit und hohen Temperaturen des Jahres 1973 konnte ein größerer Beregnungserfolg als im Jahr zuvor beobachtet werden, denn es wurde der Variante R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität) die höchste Regengabe mit insgesamt 360 mm verabreicht.

a) Feld 4 (Sandboden)

Wie im Versuchsjahr 1972 wurden auch in diesem Jahr die höchsten Erträge an Rüben-, Blatt- und Gesamtmasse bei der Variante R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität) erzielt. Insgesamt wurden bei dieser Variante an Rübenmasse 872 dz/ha, an Blattmasse 813 dz/ha und an Gesamtmasse 1684 dz/ha geerntet.

Der erstmals in dieser Versuchsreihe zur Anwendung gekommene Irrrometer bei der Variante R_3 brachte zwar erhebliche Mehrerträge; jedoch im Vergleich zu den gewonnenen Erträgen der Variante R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität) entsprachen sie nicht diesen Höchsterträgen.

Wie aus der Tabelle 23 zu ersehen ist, wurden auch bei der Variante R_1 (Wetteramt) Mehrerträge geerntet, die aber gegenüber den Erträgen von R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität) und R_3 (Irrrometer) deutlich niedriger waren.

b) Feld 2 (Sandboden)

Im Gegensatz zu dem Versuchsjahr 1972 lagen die erzielten Erträge der Variante R_1 (Automatik) in diesem Jahr gegenüber der Variante R_0 (unberegnet) wesentlich höher.

Vergleicht man aber die Gesamtfrischmasseerträge der beiden Regenstufen R_1 (Automatik) und R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität), so läßt sich

Tabelle 23:

Erträge des Feldversuches mit Zuckerrüben (Feld 4)
a) Frischmasse in dz/ha

Varianten	Rübe			Blatt			Gesamt			Zucker		
	mm	dz/ha	$\pm m$ dz/ha	rel.	dz/ha	$\pm m$ dz/ha	rel.	dz/ha	$\pm m$ dz/ha	%	dz/ha	rel.
R_0 (unberegnet)	-	158	6,8	100	179	3,3	100	337	5,8	13,6	21,5	100
R_1 (Wetteramt)	151	515	4,6	326	588	4,3	328	1103	4,8	327	71,6	333
R_2 (50 % d. nFK)	360	872	1,1	552	813	1,5	453	1684	1,3	499	144,7	673
R_3 (Irrrometer)	210	742	1,8	468	751	1,0	418	1492	2,1	442	130,5	607
b) Trockenmasse in dz/ha												
R_0 (unberegnet)	-	30	5,4	100	33	4,1	100	63	5,2	100		
R_1 (Wetteramt)	151	94	3,5	311	96	3,2	294	190	3,5	301		
R_2 (50 % d. nFK)	360	163	1,0	540	132	1,7	406	296	1,5	471		
R_3 (Irrrometer)	210	133	1,6	442	122	1,5	375	256	1,6	408		

wiederum ein deutlicher Mehrertrag bei der Variante R_2 erkennen, der mit 1536 dz/ha um 844 dz/ha deutlich über dem Gesamtertrag von R_1 mit 692 dz/ha lag. Dieser erhebliche Minderertrag von R_1 ist auch auf den aus technischen Gründen verursachten späten Einsatz der automatischen Beregnungsanlage zurückzuführen.

Einen genauen Überblick über die erzielten Erträge auf dem Feld 2 gibt die Tabelle 24.

c) Feld im Kollenbruch (humoser Lehm)

Auch auf dem Feld im Kollenbruch wurden deutliche Mehrerträge bei den beregneten Varianten R_1 (Wetteramt) und R_2 (60 % der nutzbaren Feldkapazität) erzielt.

Die genauen Ergebnisse der geernteten Erträge auf dem Feld im Kollenbruch sind in der Tabelle 25 aufgezeigt.

Vergleicht man nun die Gesamterträge der beiden Felder, Feld 4 und Feld im Kollenbruch, so kann ein deutlicher Mehrertrag auf dem Feld 4 beobachtet werden. Die Ursache für den geringen Ertrag des Feldes im Kollenbruch war der erhebliche Frostscha den, den die Zuckerrübenpflanzen kurz nach ihrem Aufgang erlitten hatten.

Allgemein kann festgestellt werden, daß durch die erzielten Rüben erträge der beiden Versuchsjahre eine positive Wirkung der Beregnungen verdeutlicht wurde, da mit Sicherheit angenommen werden kann, daß ohne Beregnungseinsätze der Zuckerrübenanbau auf diesem Standort in trockenen Vegetationsperioden unrentabel ist.

Tabelle 24:

Erträge des Feldversuches mit Zuckerrüben (Feld 2)

a) Frischmasse in dz/ha

Varianten	Rübe			Blatt			Gesamt			Zucker			
	mm	$\frac{dz}{ha}$	$\frac{+ m}{dz/ha}$	rel.	$\frac{dz}{ha}$	$\frac{+ m}{dz/ha}$	rel.	$\frac{dz}{ha}$	$\frac{+ m}{dz/ha}$	%	$\frac{dz}{ha}$	rel.	
R ₀ (unberechnet)	-	192	4,5	100	182	5,3	100	374	5,1	100	14,2	27,2	100
R ₁ (Automatik)	-	342	7,8	178	350	8,6	192	692	8,9	185	13,7	46,9	172
R ₂ (50 % d. nFK)	275	802	0,7	419	734	1,0	402	1536	0,8	411	14,1	113,1	416

b) Trockenmasse in dz/ha

R ₀ (unberegnat)	-	35	4,6	100	32	3,9	100	67	4,3	100			
R ₁ (Automatik)	-	59	6,3	169	56	7,1	179	115	7,0	172			
R ₂ (50 % d. nFK)	275	142	0,9	405	122	1,1	383	264	1,2	394			

Tabelle 25:

Erträge des Feldversuches mit Zuckerrüben (Feld im Kollenbruch)

a) Frischmasse in dz/ha

Varianten	Rübe			Blatt			Gesamt			Zucker		
	mm	dz/ha	$+ m \frac{dz}{ha}$	rel.	dz/ha	$+ m \frac{dz}{ha}$	rel.	dz/ha	$+ m \frac{dz}{ha}$	%	dz/ha	rel.
R_0 (unberegnet)	-	164	3,6	100	160	2,1	100	324	3,3	14,4	23,6	100
R_1 (Wetteramt)	189	401	5,3	244	424	1,9	265	825	5,4	14,1	56,5	239
R_2 (60 % d. nFK)	160	303	5,6	184	449	5,2	280	752	5,5	-	-	-
R_0	b) Trockenmasse in dz/ha											
R_0 (unberegnet)	-	26	3,1	100	27	2,8	100	53	3,2	-	-	-
R_1 (Wetteramt)	189	71	4,8	271	67	2,9	249	138	5,1	-	-	-
R_2 (60 % d. nFK)	160	53	5,8	202	71	5,3	300	124	5,8	-	-	-

3. Zuckergehalt, Zuckererträge und schädlicher Stickstoff

Während der Versuchsjahre 1972 und 1973 wurden neben den Untersuchungen zur Berechnungsmenge und zum Berechnungszeitpunkt auch Ermittlungen über die Auswirkungen der Beregnungen auf den Zuckergehalt und -ertrag der Zuckerrüben durchgeführt.

Bezüglich des Zuckergehaltes kann gesagt werden, daß sich die künstliche Wasserzufuhr nur minimal negativ, oft sogar auch positiv, auswirkte. In bezug auf den Zuckerertrag ist stets eine positive Reaktion auf die künstliche Beregnung festgestellt worden, wobei jedoch der richtige Beregnungseinsatz die Voraussetzung darstellt.

Beim Vergleich der Zuckergehalte der beiden Versuchsjahre 1972 und 1973 läßt sich ein deutlicher Unterschied erkennen. Aufgrund der Niederschläge und der damit verbundenen geringen Sonneneinstrahlung im Jahre 1972 war der Zuckergehalt der beregneten Varianten relativ niedrig. Im Jahre 1973 dagegen wurde ein höherer Gehalt an Zucker trotz größerer Beregnungseinsätze festgestellt, da in diesem Jahr öfters längere Trockenperioden und somit eine lang anhaltende Sonneneinstrahlung vorherrschend waren.

Wie aus den Tabellen zu ersehen ist, wurde der höchste Zuckergehalt für das Jahr 1972 mit 16 % bei der Varianten R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität) des Feldes D erzielt, die auch zugleich aufgrund ihres hohen Rüben-ertrages den Spitzenertrag an bereinigtem Zucker mit 115,8 dz/ha erbrachte. Den niedrigsten Zuckergehalt mit 8,7 % wies die Variante R_1 (Automatik) auf, da die Zuckerrübenpflanzen dieser Varianten durch die schon mehrfach erwähnte Pilzkrankheit stark in Mitleidenschaft gezogen waren.

Im Versuchsjahr 1973 ergaben die Untersuchungen des Zuckergehaltes und -ertrages ein anderes Bild. Im Gegensatz zum Vorjahr wurde der höchste Ertrag an Zucker mit 17,6 % bei der Variante R_3 (Irrrometer) auf dem Feld 4 festgestellt, während die Variante R_2 (50 % der nutzbaren Feldkapazität) den maximalen Ertrag an bereinigtem Zucker von 144,7 dz/ha aufwies. Der Zuckergehalt der Variante R_2 (Automatik) lag in diesem Jahr mit 14,2 % höher als im Vorjahr.

Neben den Bestimmungen des Zuckergehaltes wurden auch Untersuchungen durchgeführt, um den Einfluß der Beregnungen auf den Gehalt der Rüben an

schädlichem Stickstoff festzustellen. Hierüber geben die Tabellen 26 und 27 genaue Auskunft.

Tabelle 26: Schädlicher Stickstoff 1972 (mg/100 g Rüben)

	R_0	R_1	R_2
Feld D	unberechnet	Wetteramt Offenbach	50 % nutzbarer Feldkapazität
	35,0	23,6	21,0
Feld 1	R_0	R_1	R_2
	unberechnet	automatische Berechnung	50 % nutzbarer Feldkapazität
	29,0	14,3	15,0
Feld im Kollenbruch	R_0	R_1	R_2
	unberechnet	Wetteramt Offenbach	60 % nutzbarer Feldkapazität
	29,2	23,4	22,6

Tabelle 27: Schädlicher Stickstoff 1973 (mg/100 g Rüben)

	R_0	R_1	R_2	R_3
Feld 4	unberechnet	Wetteramt Offenbach	50 % nutzbarer Feldkapazität	Irrrometer
	38,5	32,5	26,5	25,5
Feld 2	R_0	R_1	R_2	
	unberechnet	automatische Berechnung	50 % nutzbarer Feldkapazität	
	35,0	20,3	17,5	
Feld im Kollenbruch	R_0	R_1	R_2	
	unberechnet	Wetteramt Offenbach	60 % nutzbarer Feldkapazität	
	36,5	20,5	24,4	

Anhand der beiden Tabellen ist zu erkennen, daß sich die Berechnungen weitgehend positiv auf den Gehalt an schädlichem Stickstoff auswirkten, was auch schon durch die Ergebnisse von M. LÜDECKE und M. NITZSCHE bewiesen wurde.

Der Grund für den geringen Gehalt an schädlichem Stickstoff bei den Zuckerrüben der berechneten Varianten ist darin zu suchen, daß die berechneten Rüben infolge der verabreichten Regengaben viel eher die Möglichkeit hatten, den Stickstoff aufzunehmen und zu Eiweißstoff zu verwerten, als die Pflanzen der unberechneten Varianten R_0 .

Da in beiden Versuchsjahren die klimatischen Verhältnisse bezüglich der Niederschläge für die Stickstoffaufnahme der unberechneten Rüben relativ ungünstig waren, konnten diese Pflanzen im Höchstfalle N-Verbindungen wie z. B. Aminosäuren oder Säureamide bilden.

Abschließend kann festgehalten werden, daß die künstliche Wasserzufuhr keine Erhöhung, sondern eher eine Verminderung des schädlichen Stickstoffgehaltes bewirkt.

VIII. DISKUSSION

Schon frühzeitig wurde damit begonnen, die Beregnungsbedürftigkeit, die Beregnungsmengen und den Beregnungszeitpunkt bei den verschiedenen Kulturpflanzen zu untersuchen. Einige Autoren haben versucht, den geeigneten Zeitpunkt für den Einsatz der Beregnung aufgrund phänologischer Beobachtungen, klimatischer Faktoren, Bodenfeuchtigkeitsverhältnisse sowie unmittelbar über den Wasserhaushalt der Pflanze zu ermitteln.

Wie schon in der Einführung dargelegt wurde, befaßt sich die vorliegende Arbeit damit, einige während der letzten Jahre entwickelte Methoden zur Bestimmung des optimalen Zeitpunktes und der optimalen Gabe der Beregnung zu vergleichen. Der Vergleich soll zeigen, welche der Beregnungsmethoden auf leichtem Sandboden und humosem Lehm im hessischen Ried die größten wirtschaftlichen Vorteile, d.h. Ertragssteigerung sowie Qualitätsverbesserung verspricht.

Aufgrund zweijähriger Versuche auf Sand und humosem Lehm in Groß-Gerau ist eine Urteilsbildung über die hier verglichenen Methoden möglich geworden. Eine entscheidende Voraussetzung war der trockene Witterungscharakter beider Jahre und insbesondere der Vegetationszeit, deshalb konnten mit Hilfe der Beregnung mehr Erträge bzw. maximale Erträge erzielt werden, wie dies in der Literatur kaum oder selten zu verzeichnen war.

Die Ergebnisse beider Jahre bestätigen vorherige Untersuchungen des Institutes (FINDER 1960; SCHAHIDINEJAD 1963; BOCKSCH 1972), indem die Brauchbarkeit der im Institut entwickelten Methode nachgewiesen wurde. Mit dieser Methode wurden die Maximalerträge erzielt, wenn der Einsatz der Beregnung bei dem Schwellenwert von 50 % bzw. 60 % der nutzbaren Feldkapazität erfolgte. Zur Auffüllung auf die Feldkapazität waren für die Bodentiefe von 0 - 40 cm jeweils Regengaben von 25 mm bzw. 30 mm erforderlich. Obwohl bei der Methode nach "Wetteramt" die Profiltiefe von 0 - 60 cm berücksichtigt wird, kamen wesentlich niedrigere Gesamtregengaben, nämlich 99 mm im Jahre 1972 und 151 mm im Jahre 1973, zur Anweisung. Diesen Gaben stehen bei der erstgenannten "Methode des Institutes" Gesamtregengaben von 210 mm im Jahre 1972 und 360 mm im Jahre 1973 gegenüber.

Entscheidend für die Beurteilung ist die große Ertragsdifferenz, wobei die Methode nach "Wetteramt" bereits beachtliche Mehrerträge erbrachte. Unabhängig von der eindeutigen Unterlegenheit der Methode nach "Wetteramt" soll hier nur auf zwei Punkte hingewiesen werden.

Einmal erwiesen sich auf dem leichten Boden in Anbetracht der Trockenwitterung die Zeitabstände bzw. Regenmengen als zu groß; vereinbarungsgemäß wurden die von uns anzugebenden Bodenfeuchtwerte nur wöchentlich angefordert bzw. mitgeteilt. Bei den von uns durchgeführten zweimaligen Untersuchungen zeigte die Bodenfeuchte bereits einen starken Abfall innerhalb von 4 Tagen, so daß die geringeren Mehrerträge schon dadurch verständlich sind. Andererseits ist es offensichtlich und durch die Werte belegbar, daß Rüben ihren Wasserbedarf hauptsächlich aus den Bodenschichten von 0 - 40 cm decken. Wenn auch die Rüben noch tiefer gehende Wurzeln ausbilden, so ist gerade auf dem Sandboden die Wassernachlieferung aus den tieferen Schichten zu gering, wenn die oberen Horizonte zu stark ausgetrocknet sind. In diesem Zusammenhang ist die Feststellung wichtig, daß die berechneten Wassergaben zur Auffüllung der Feldkapazität von 25 mm bzw. 30 mm nicht tiefer als 40 cm in den Boden eindringen, eine nicht zu hohe Bodenfeuchtigkeit vorausgesetzt (vgl. FINGER 1960; BOCKSCH 1972).

Die Schlußfolgerung über die Brauchbarkeit der Methode des Institutes wird durch die Ergebnisse mit der im Jahre 1973 zur Anwendung gekommenen Irrometer-Methode bestätigt. Von den beiden Meßtiefen (30 und 60 cm) hat sich der Berechnungseinsatz nach dem Irrometer-Wert des 30 cm tiefen installierten Irrometers bewährt. Die vergleichend durchgeführte Bodenfeuchtemessung ergab jeweils Werte zwischen 40 - 50 % der nutzbaren Feldkapazität. Deshalb ist es verständlich, wenn sowohl die Berechnungsmenge als auch die Erträge zwischen den beiden anderen Varianten lagen. Die Irrometerwerte der 60 cm Bodentiefe reagierten später sowohl hinsichtlich der Austrocknung als auch der Wiederbefeuchtung.

Bei der weiteren zur Anwendung gekommenen automatisch gesteuerten klimatisierenden Beregnung nach J. SEEMANN hing die Zahl der Beregnungseinsätze erwartungsgemäß von der Einstellung auf die Schwellenwerte der

Temperatur sowie der Sonneneinstrahlung und Luftfeuchte ab. Die Dauer jedes einzelnen Beregnungseinsatzes blieb jedoch konstant und lag bei 2 Minuten. Das ungünstige Ergebnis von 1972 wurde unabhängig von der offenbar nicht optimalen Einstellung der Automatik durch das starke Auftreten des Pilzes *Cercospora beticola* (Blattfleckenkrankheit) beeinflusst. Deshalb kann geschlossen werden, daß hier die Regulierung des Mikroklimas im Blattbereich keineswegs als optimal zu bezeichnen war; leider konnte diese Frage auch mit dem Versuchsjahr 1973 nicht endgültig geklärt werden, da der Einsatz der Anlage aus technischen Gründen erst Ende Juli erfolgen konnte, so daß die Beregnung bzw. Klimatisierung zu spät erfolgte, was aus dem Vergleich mit den zu diesem Zeitpunkt schon erfolgten Beregnungen der anderen Varianten ersichtlich ist. Damit bei dieser Methode eine zu starke Wasserabgabe des Bodens vermieden wird, wäre eine Kombination mit einem Tensiometer bzw. einer Bodenfeuchtemessung zweckmäßig.

Die Urteilsbildung wird auch durch die phänologischen Beobachtungen über den Welkezustand bestätigt. In der Tat fiel das temporäre Welken weitgehend mit dem Überschreiten des Schwellenwertes (50 % nFK 0-40 cm Tiefe) der Methode des Institutes zusammen. Das temporäre Welken hängt sehr von weiteren Einflüssen wie Temperatur, Windbewegung sowie direkte Sonneneinstrahlung ab. Generell kann auch hier gefolgert werden, daß bei der Methode des Institutes bei 50 % nutzbarer Feldkapazität die Assimilation der Pflanze ohne stärkere Unterbrechung gesichert ist (s. n. ZWICKER 1956).

Aus den oben gemachten Beobachtungen kann man folgern, daß die Grenze 50 % nFK als Maß für den Beregnungseinsatz dieses Standortes als geeignet anzusehen ist. Unterhalb dieses Grenzwertes ist keine volle Assimilation der Pflanze mehr gewährleistet. Im Hinblick auf den Wasserverbrauch der einzelnen Beregnungsmethoden wurden unterschiedliche Werte registriert, da aufgrund der verschiedenen Methoden entsprechend diverse Wassermengen verabreicht wurden.

1972

Variante	Regengabe	Wasserverbrauch
R ₀ (unberechnet)	-	332,5
R ₁ (Wetteramt)	99 mm	379,0
R ₂ (50 % nFK)	210 mm	488,0

1973

R ₀ (unberechnet)	-	286,5
R ₁ (Wetteramt)	151 mm	374,0
R ₂ (50 % nFK)	360 mm	539,0
R ₃ (Irrometer)	245 mm	478,0

Die Wasserbilanzrechnung umfaßt auch die "unproduktive Verdunstung", da bis Mitte Juni die Reihen noch nicht geschlossen waren. Die Evaporation war bei der Variante R₀ (unberechnet) besonders hoch, da sich die Zuckerrüben bei Wassermangel nicht entwickeln konnten.

Eine endgültige Aussage über den Erfolg der Beregnung kann am besten anhand der erzielten Erträge gemacht werden. Wie schon erwähnt, brachten die beiden Jahre einen beträchtlichen Mehrertrag durch die Beregnung.

Die Erträge der Variante R₂ (50 % nFK) waren den Erträgen der anderen Varianten weit überlegen. Somit führt die vom Institut entwickelte Methode über den optimalen Beregnungszeitpunkt zum Höchstertrag für das Versuchsjahr 1972 von 1465 dz/ha. Gesamtfrischmasse und 285 dz/ha Gesamttrockenmasse und für das Versuchsjahr 1973 von 1684 dz/ha Gesamtfrischmasse und 296 dz/ha Gesamttrockenmasse.

Das erstmals zur Anwendung gekommene Irrometer zur Bestimmung des Beregnungszeitpunktes nimmt eine Mittelstellung ein. Es wurden bereits erhebliche Mehrerträge erzielt, welche aber nicht den Höchsterträgen entsprechen. Sicher kann durch eine Veränderung in der Einstellung des Irrometers bereits ein Beregnungszeitpunkt erreicht werden, der dem optimalen Zeitpunkt näher kommt.

Im Gegensatz zu den Meinungen, daß die frühen Beregnungseinsätze (vor Mitte Juni) eine Verminderung des Blattanfalles und eine größere Anzahl von Schossern bewirken, führte der frühe Beregnungseinsatz - besonders

bei der vom Institut entwickelten Methode - zu einer positiven Entwicklung der Zuckerrüben und dadurch zu einem früheren Reihenschluß, der außerdem die unproduktive Verdunstung verminderte.

Im Versuchsjahr 1973 wurden bei allen Berechnungsvarianten bis Mitte Juni bereits Regengaben verabreicht. Bei der Variante R_2 (50 % nFK) wurde bis Mitte Juni 3mal (je 30 mm) beregnet, und zwar einmal gleich nach der Aussaat. Außerdem ist hervorzuheben, daß auch der noch spät erfolgte Beregnungseinsatz im Jahre 1972 (29. September) bei der Variante R_2 (50 % nFK) positiv auf den Ertrag wirkte, wobei der höchste Zuckergehalt gefunden wurde.

Es werden die schon früher auf diesem Standort gemachten Feststellungen bestätigt (FINGER 1960, SCHAHIDINEJAD 1963, ABUSAIDI 1968, ÖZGÖR 1969), daß der Beregnungseffekt in Jahren mit längeren Trockenperioden (wie im Jahre 1972, 1973) außerordentlich hoch sein kann. Infolge der mit Beregnung erzielten höheren Trockensubstanz ist der Ertrag an Trockenmasse noch stärker gestiegen als bei der Frischmasse. Damit werden auch die Qualitätsmerkmale der Zuckerrüben beeinflusst.

Wie schon von v. BOGUSLAWSKI und SCHILDBACH (1969) festgestellt wurde, steigt der Polarisationswert, während die Werte des schädlichen Stickstoffes und der löslichen Asche durch Verwertung der Nährstoffe abnehmen. Entscheidend sind in diesem Zusammenhang die Bodenart, der Zeitpunkt und die Menge der Regengabe.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde außerdem geprüft, welche Werte bei der durchgeführten Beregnungsvariante die Saugspannung und die Transpirationsintensität (Indipa-Methode) zeigten.

Je nach den Witterungsbedingungen schwankten die gemessenen Saugspannungswerte des Blattes zwischen 6 bis 19 atm. Maßgeblich für die Saugspannungsmessung ist die Tageszeit, da das Maximum der Saugspannung meist in den Nachmittagsstunden erreicht wird. Damit erhalten wir einen Hinweis, daß auch diese schon früher benutzte Methode für die Bestimmung des Beregnungszeitpunktes möglich ist.

Obwohl die Umweltfaktoren relative Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Wind und Sonneneinstrahlung einen großen Einfluß auf die Saugspannung des Blattes haben, wird diese durch die Bodenfeuchtigkeit am stärksten beeinflusst.

Abgesehen davon, daß die Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit hier im Vordergrund stand und diese in den vorliegenden Untersuchungen und vorherigen Arbeiten als besser geeignet zu bezeichnen ist, kann die Messung der Blattsaugspannung gleichfalls als Methode für die Bestimmung des Beregnungszeitpunktes herangezogen werden. Dies erscheint jedoch nur unter der Voraussetzung möglich, daß alle anderen auf die Saugspannung gleichzeitig einwirkenden Faktoren Berücksichtigung finden.

Daher bestätigen die vorliegenden Untersuchungen, daß die Blattsaugspannung mit zunehmendem physiologischen Alter zunächst ansteigt, um im Reifestadium wieder abzufallen. Ferner unterschied sich die Blattsaugspannung bei verschiedenen Kulturpflanzen (vgl. SAFAR 1968, BOLAND 1971, BOCKSCH 1972).

Außerdem wurde die Transpiration der lebenden Pflanze mit Hilfe der Indipa-Methode quantitativ bestimmt. Der erfaßte Meßbereich erstreckte sich von $0,006 \text{ mg/cm}^2 \text{ min}$ bis zu $0,091 \text{ mg/cm}^2 \text{ min}$ bei guter Wasserversorgung.

Erwartungsgemäß verläuft die Kurve der Transpiration, die mit der erwähnten Indipa-Methode bestimmt worden ist, proportional mit der Kurve der Saugspannung.

Eine endgültige Aussage über die Brauchbarkeit dieser Methode kann hier nicht gegeben werden, während andererseits eine sehr genaue Wägung erforderlich ist. Hinzu kommt, daß die Blätter, wie oben erwähnt, leicht abbrechen.

Wie bei R. BOLAND (1971) erwies es sich auch bei diesen Untersuchungen, daß die Indipa-Methode nur bei Pflanzen mit schmalen Blättern anwendbar ist. Hier wurde außerdem festgestellt, daß bei den gut mit Wasser versorgten Blättern bzw. Pflanzen erhebliche Schwankungen bei 10 wiederholten Untersuchungen auftraten.

IX. ZUSAMMENFASSUNG

1. Auf dem leichten Sandboden und humosem Lehm des Versuchsfeldes Groß-Gerau im hessischen Ried wurden in den Jahren 1972/73 Beregnungsversuche mit Zuckerrüben durchgeführt. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, einige während der letzten Jahre entwickelten Methoden zur Bestimmung des Beregnungszeitpunktes zu vergleichen. Der Vergleich soll zeigen, welche der Beregnungsmethoden die größten Ertragssteigerungen einschließlich der Sicherung der Erträge und der Qualität verspricht.
2. Im Gegensatz zu den Meinungen, daß die frühe Beregnung der Zuckerrüben eine Verminderung des Ertrages bewirke, führte auf dem Boden dieses Standortes sowohl die frühzeitige (28.4.1973) als auch die späte Beregnung (29.9.1972) zu einer positiven Beeinflussung des Ertrages und des Zuckergehaltes. Die Untersuchungen des schädlichen Stickstoffes ergaben in den beiden Jahren ebenfalls eine positive Beeinflussung durch die Beregnung, d.h. der schädliche Stickstoffgehalt wurde vermindert.
3. Die Ermittlung des Bodenfeuchtegehaltes bleibt eine der wichtigsten Voraussetzungen für den Beregnungseinsatz. Zu diesem Zweck wurden der "permanente Welkepunkt" und die "Feldkapazität" für die Errechnung der "nutzbaren Feldkapazität" bestimmt. Die Kontrolle der Bodenfeuchte muß häufig und bei anhaltender Trockenheit sogar alle 2 Tage erfolgen.
4. Das wichtigste Ergebnis der beiden Jahre besteht darin, daß die Erträge der Variante R_2 - Beregnung bei 50 % der nutzbaren Feldkapazität - den Erträgen der anderen Varianten weit überlegen waren. Somit führt die vom Institut entwickelte Methode über den "optimalen Beregnungszeitpunkt" zum Höchstertrag. Die erstmalig angewandte "Irrometer-Methode" nimmt eine Mittelstellung ein. In der Ertragsbildung war die Reihenfolge der Methoden: Methode bei 50 % nFK > Irrometer-Methode > Methode nach Wetteramt. Für die Fortentwicklung der vom Zentralamt des Deutschen Wetter-

antes (nach PFAU) entwickelten Methode ergeben sich auf der Basis der hier festgestellten Daten Anregungen.

Außerdem wurde die automatisch gesteuerte klimatisierende Beregnung nach SEEMANN geprüft.

5. Phänologisch wurden bei der Methode 50 % nFK nur bei Erreichen des kritischen Punktes leichte Welkeerscheinungen beobachtet. Bei den Vergleichsvarianten waren die "Welkezustände" beim Erreichen des jeweiligen kritischen Punktes so weit fortgeschritten, daß bereits Störungen in der Assimilation und damit Ertragsverluste auftreten.
6. Ergänzend wurden die Brauchbarkeit der Saugspannung des Blattes nach der Methode SCHARDAKOV und der Indipa-Methode zur Bestimmung der Transpirationsintensität weitgehend bestätigt. Bei den Jahreskurven der Saugspannung haben die Umweltfaktoren Bodenfeuchte, relative Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Wind den stärksten Einfluß, wobei gleichzeitig ein Anstieg der Blattsaugspannung mit dem Alter der Pflanze zu berücksichtigen ist.
Die Indipa-Methode zeigte eine relativ hohe Empfindlichkeit, so daß in kurzer Zeit große Schwankungen auftraten.

X. LITERATURVERZEICHNIS

- ABUSAIDI, B. 1968: Berechnungszeitpunkt unter Berücksichtigung von Standort und Düngung bei Zuckerrüben. Diss. Gießen
- ACHTNICH, W. 1966: Die bodenphysikalischen, klimatologischen und pflanzenphysiologischen Grundlagen der Beregnung. Handbuch der Beregnungstechnik. Perrat, 7-30
- ALVIM, P. de T. 1960: Die Öffnungsweite der Stomata als praktischer Anzeiger des Wassermangels beim Kakao. Phytton 15, 79-89 (engl.)
- ARLAND, A. 1956: Ein Beitrag zur Anwelkmethode, Dt. Akad. d. Landw. wiss. zu Berlin - Sitzungsber. Bd. V, Heft 6
- ATANASIU, N. 1948: Ein Beitrag zum Studium des Wasserverbrauches unserer Kulturpflanzen. Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 42, S. 103-123
- ATANASIU, N. 1950: Beziehungen zwischen klimatischen Wachstumsfaktoren und Pflanzenenertrag. Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 49, S. 83-89
- ATANASIU, N. und B. KRUSE 1957: Zur Frage der künstlichen Beregnung in Beziehung zum Klima. Z. Acker- und Pflanzenbau 104, S. 137-144
- BACHMANN, F. 1927: Über die Beziehung zwischen dem Wassergehalt des Bodens und seinem Wasserdampfdruck sowie über diejenigen zwischen der Saugkraft des Bodens und dem Welken von Pflanzen. Z. Acker- u. Pflanzenbau 103, S. 95
- BAUMANN, L. 1957: Über die Beziehung zwischen Hydratur und Ertrag. Ber. d. Deutschen Bot. Ges. Bd. 70, S. 67-78
- BAUMANN, H. 1949: Die konstitutionelle Anpassung der Kulturpflanzen an die Wasserversorgung. Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 46, S. 176-190

- | | | |
|--------------------------------|-------|---|
| BAUMANN, H. | 1951: | Wasserversorgung und Ertragsbildung.
Z. Acker- und Pflanzenbau 93, S. 497-513 |
| BAUMANN, H.
und F. KLATT | 1957: | Berechnungszeitpunktversuche mit Hafer-
und Winterweizensorten. Z. Acker- und
Pflanzenbau 103, S. 380-396 |
| BAUMANN, H.
und U. SCHENDEL | 1963: | Berechnungswirkung, Bodenwassergehalt,
Wasserverbrauch. Z. Wasser und Nahrung,
Heft 2, S. 78-85 |
| BIEBL, R. | 1958: | Handbuch Pflanzenphysiologie (W. Ruhland)
Bd. IV, Springer-Verlag Berlin-Göttingen-
Heidelberg, S. 382-426 |
| BIEBL, R. | 1962: | Handbuch der Protoplasmaforschung.
Springer-Verlag Wien Bd. 12, Protoplas-
matische Ökologie der Pflanzen, 1. Was-
ser und Temperatur |
| BIRKE, J. | 1965: | Über den Wasserhaushalt der Kulturpflan-
zen in Abhängigkeit von verschiedenen
agrotechnischen Maßnahmen. 1. Saugkraft-
und Wassergehaltsmessungen an Mais- und
Zuckerrübenblättern 1960 und 1961. Thaer-
Archiv 9, S. 791-804 |
| BIRKE, J. | 1965: | 2. Zellsaftkonzentrationsmessungen an
Zuckerrüben-, Mais-, Kartoffel- und Wei-
zenblättern 1962 und 1963. Thaer-Archiv,
9, S. 883-900 |
| BIRKE, J. | 1965: | Korrelationen zwischen den Werten der
Saugkraft, der Zellsaftkonzentration und
des Feuchtegehaltes in Zuckerrübenblät-
tern und die Abhängigkeit der Zellsaftkon-
zentration von der Luft- und Bodenfeuchtig-
keit. Thaer-Archiv 9, S. 1041-1049 |
| BLUM, G. | 1958: | Handbuch der Protoplasmaforschung, Bd. 2,
S. 1-202, Osmotischer Wert, Saugkraft,
Turgor, Springer-Verlag Wien |
| BOGUSLAWSKI, E. v. | 1937: | Die Ausnutzung des Bodenwassers durch
verschiedene Sommerzwischenfrüchte.
Pflanzenbau 13. Jahrgang, S. 369-385 |
| BOGUSLAWSKI, E. v. | 1937: | Wasserhaushalt und Ertragsbildung der
Pflanze in Abhängigkeit von der Wasserver-
sorgung und dem Wasserhaushalt des Stand-
ortes. Der Forschungsdienst 4, S. 370-381 |

- BOGUSLAWSKI, E. v. 1939: Die Wasserverhältnisse in ihren Beziehungen zum Pflanzenertrag. Verhandl. d. 4. Kommission d. Internat. Bodenkundl. Ges., Stockholm (29)
- BOGUSLAWSKI, E. v. 1941: Untersuchungen über den Einfluß des Feinerdegehaltes, der Pflanzenbestandesdichte und der Pflanzenart auf die Aufnahme und Verwertung des Bodenwassers. Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 24, S. 265-303
- BOGUSLAWSKI, E. v. und P. RIETZEL 1959: Zur Ermittlung des physiologisch nutzbaren Wassers im Boden mit Hilfe des Gefäßversuches. Diss. Gießen
- BOGUSLAWSKI, E. v. und R. SCHILDBACH 1969: Der Einfluß von Standort, Jahr, Düngung und Beregnung auf die Qualität der Zuckerrübe unter Berücksichtigung des Ertrages. Zucker 5, S. 123-132
- BOGUSLAWSKI, E. v. 1969: Die Techniken der Pflanzenproduktion und die Deckung des menschlichen Bedarfs. IIIeme Congrès mondial de la recherche agronomique, Rome
- BOKSCH, R. 1972: Die Saugspannung des Blattes als Maß für den Wasserhaushalt der Pflanze in Abhängigkeit vom Wasserhaushalt des Bodens und der Atmosphäre. Diss. Gießen
- BOLAND, R. 1971: Die Bedeutung der Saugkraft und des Öffnungszustandes der Spaltöffnungen sowie des Sättigungsdefizits und des Refraktometerwertes für die Beurteilung der Hydratur der Pflanze als Indikatoren für die Beregnung. Diss. Gießen
- BROUWER, W. 1956: Untersuchungen über Beregnung und Zusatzdüngung. Z. Wasser und Nahrung, Heft 1, S. 36-41
- BROUWER, W. 1959: Die Feldberegnung. DLG-Verlag Frankfurt/M.
- BROUWER, W. 1967: Zur Problematik der Beregnung. Z. Acker- und Pflanzenbau 125, S. 74-81
- BROUWER, W. und K. H. MARTIN 1956: Ein Beitrag zur Frage Beregnung und Düngung. Z. Acker- und Pflanzenbau 101, S. 79-94

- | | |
|---------------------------------|--|
| BROUWER, W.
und K. H. MARTIN | 1962: Der Einfluß von Beregnung und Zusatzdüngung auf die ertragsbestimmenden Faktoren der wichtigsten Feldfrüchte auf anleh-migem Sandboden. Z. Acker- und Pflanzenbau 115, S. 319-340 |
| BUCHNER, A.
und P. PEHL | 1954: Zur Beregnung der Zuckerrüben auf Sandboden. Z. Zucker, 7, Heft 12, S. 259-262 |
| CZERATZKI, W. | 1955: Beregnung und Wasserhaushalt des Bodens. Z. Wasser und Nahrung, Heft 1, S. 21-24 |
| CZERATZKI, W. | 1968: Mehrjährige Vergleichsuntersuchungen zwischen granimetrischer Methode und Neutronenmessung zur Kontrolle der Bodenfeuchte bei einem Beregnungsversuch. Landw. Forsch. 21, S. 292-305 |
| CZERATZKI, W.
und W. KORTE | 1955: Rationelle Steuerung der Feldberegnung. Landbau-Forsch. Völkenrode 5, S. 75-78 |
| CZERATZKI, W.
und W. KORTE | 1961: Die Beregnung der Zuckerrüben nach der Bodenfeuchte. Z. Zucker, 14, Heft 10, S. 244-249 |
| FINGER, H. | 1960: Untersuchungen über die Wirkung der künstlichen Beregnung in Kombination mit der Düngung. Diss.. Gießen |
| FRANKE, F. | 1960: Einfluß der Beregnung auf Ertrag und Qualität von Rüben. Z. Wasser und Nahrung, Heft 1, S. 31-33 |
| GERICKE, S. | 1963: Beziehungen zwischen den Wachstumsfaktoren Wasser und Düngung. Z. Wasser und Nahrung, Heft 2, S. 87-92 |
| GLIEMEROTH, G. | 1952: Wasserhaushalt des Bodens in Abhängigkeit von der Wurzel Ausbildung einiger Kulturpflanzen. Z. Acker- und Pflanzenbau 95, S. 21-46 |
| GONZALEZ, B. F. | 1960: Una nueva tecnica para determinar el deficit de presion de difusion (DPD) en las plantas. An. de Edaf. y Fisiog. veg. |
| GORYSCHINA, T. K. | 1960: Einige Angaben über den Wasser- und Temperaturhaushalt der Blätter von Pflanzen verschiedener ökologischer Typen unter natürlichen Bedingungen. Nachr. Leningrader Univ. 15, S. 90-98 russ. (ref. Landw. Zentralbl. S. 25, 1961) |

- GRAF, A. 1965: Ergebnisse der Beregnungsversuche an der Versuchsstation Fuchsenbigl (Marchfeld). Land- u. Forstwirtsch. Forsch. in Österreich, Bd. I, S. 195-224
- GRAU, J. 1968: Schwingungsverhalten des Spaltöffnungsapparates. *studia biophysica* 11, S. 105-110
- GUMAROWA, CH.F. 1959: Die Saugkraft der Blätter als Charakteristik der Wasserversorgung und zur Einschätzung der Notwendigkeit der Bewässerung der Baumwolle. *Usbek. biol. J.* 5, S. 41-49 russ. (ref. *Landw. Zentralbl.*, S. 2111, 1960)
- HERWIG, K. 1963: Untersuchungen über Nährstoffaufnahme und Nährstofftransport bei jungen Getreidepflanzen in Abhängigkeit vom osmotischen Druck der Außenlösung. Diss. Gießen
- HEYN, H. 1973: Wasserverteilung bei Beregnung und Furchenrieselung. Leichtweiss-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig. *Mitteilungen* Heft 36
- HUBER, B. 1956: Die Saftströme der Pflanzen. Springer-Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg
- ILIEV, R. L. 1964: Die Saugkraft der Blätter als Mittel zur Bestimmung der Aneignung der Bodenfeuchtigkeit durch Pflanzen. *Fiziologija rasteriji*, Moskva 11, S. 93-99 russ.
- ILIEV, R. L. 1965: Physiologische Eigenschaften als Indikator für den Wasserbedarf von Futter- und Zuckerrüben bei Bewässerung. I. zvest. *Akad. nauk SSSR serija biolog.* Moskva 30, S. 744-755 russ. (ref. *Landw. Zentralbl.*, S. 1527, 1966)
- IRROMETER COMPANY : Irrometer, reg. u.s. pat. of Moisture Indicator; Reference Book, California (engl.)
- JÄGER, S. 1964: Der Wasserhaushalt von *Avena sativa* L. bei steigender Mineralvolldüngung. Diss. Gießen

- | | | |
|--------------------------------------|-------|---|
| KAUSCH, W. | 1955: | Saugkraft und Wassernachleitung im Boden als physiologische Faktoren unter besonderer Berücksichtigung des Tensiometers. <i>Planta</i> 45, 217 |
| KETELAPPER, H. J. | 1963: | Stomata Physiology. <i>Ann. Rev. Plant Physiol.</i> 14, 249 |
| KHAVIDI, D. | 1968: | Die Wirkung der Beregnung zu Zuckerrüben bei verschiedenem Wasserzustand eines schweren Alluvialbodens. Diss. Gießen |
| KISSER, J.
und H. BENTRUP, A. UST | 1967: | Eine neue empfindliche Methode zur indirekten Feststellung des Öffnungszustandes der Spaltöffnungen. <i>Ber. d. Deut. Bot. Ges.</i> 8, S. 157-166 |
| KLAPPE, E. | 1967: | Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues, 6. Aufl., Paul Parey-Verlag Berlin-Hamburg |
| KLATT, F. | 1959: | Die Beregnung der Zuckerrübe an Hand 8jähriger Beregnungsversuche. <i>Z. Acker- und Pflanzenbau</i> 109, S. 408-429 |
| KLATT, F. | 1970: | Die Steuerung der Beregnung nach dem Beregnungsdiagramm. <i>Feldwirtschaft</i> 11, S. 164-165 |
| KOENEN, K. | 1959: | Feststellung der Wasserverteilung in der Butter mittels Indipa-Indikatorpapier. <i>Milchwissenschaft</i> 14, S. 371-374 |
| KOPETZ, L. M. | 1955: | Die Beregnung im Dienst des Pflanzenbaues. <i>Die Bodenkultur</i> 7, S. 199-208 |
| KORTE, W. | 1963: | Die klimatische Wasserbilanz. Ein Hilfsmittel zur Steuerung der Feldberegnung. <i>Wasser und Nahrung</i> 2, S. 73-77 |
| KREEB, K. | 1955: | Untersuchungen über die Hydratur einiger Kulturpflanzen. <i>Ber. d. Deut. Bot. Ges.</i> 68, S. 71-86 |
| KREEB, K. | 1957: | Hydratur und Ertrag. <i>Ber. d. Deut. Bot. Ges.</i> 70, S. 121-136 |
| KREEB, K. | 1958: | Die Bedeutung der Hydratur für die Kontrolle der Wasserversorgung bei Kulturpflanzen. Habilitation Hohenheim |

- KREEB, K. 1960: Über die gravimetrische Methode zur Bestimmung der Saugspannung und das Problem des negativen Torgors. 1. Mitteilung. *Planta* 55, S. 274-282
- KREEB, K. 1963: Untersuchungen zum Wasserhaushalt der Pflanzen unter extremariden Bedingungen. *Planta* 59, S. 442-458
- KREEB, K. 1964: Ökologische Grundlage der Bewässerungskulturen in den Subtropen. Gustav Fischer Verlag Stuttgart
- KREEB, K. 1965: Untersuchungen zu den osmotischen Zustandsgrößen. II. Mitteilung. *Planta* 66, S. 156-164
- KREEB, K. 1966: Die Registrierung des Wasserzustandes über die elektrische Leitfähigkeit der Blätter. *Ber. d. Deut. Bot. Ges.* 79, S. 150-162
- KRIEGBAUM, H. 1956: Zur Frage der Ertragsänderung bei einigen Nutzpflanzen durch Beregnen zu verschiedenen Zeiten, unter besonderer Berücksichtigung der Ertragsstruktur von Winterweizen. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 100, S. 99-132
- KUBITZKI, K. 1964: Zur Kenntnis der osmotischen Zustandsgrößen südchilenischer Holzgewächse. *Flora* 155, S. 101-116
- LOBOV, M. F. 1951: Die Beziehungen zwischen dem Wachstum und der Zellsaftkonzentration der Pflanzen. *Botan. Zeit.* 36, S. 21-28 russ. (zit. n. KREEB, K. 1958)
- MARTIN, K. H. 1967: Ergebnis fünfjähriger Beregnungsversuche mit Zuckerrüben unter Berücksichtigung der Bodenfeuchte als Kriterium für den Einsatz der Feldberegnung. *Zucker* 20, S. 169-174
- MITSCHERLICH, E. A. 1905: *Bodenkunde für Land- und Forstwirte.* Verlag Paul Parey Berlin, 1. Aufl.
- MITSCHERLICH, E. A. 1912: Das Wasser als Vegetationsfaktor. *Landw. Jb.* 42, S. 701-717

- MITSCHERLICH, E. A. 1927: Ein Beitrag zur Erforschung des bodenkundlichen Wachstumsfaktors Wasser. Landw. Jb. 65, Heft 3, S. 437-449
- MITSCHERLICH, E. A. 1947: Über den Einfluß des Wassers auf die Höhe der Pflanzenenerträge. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 38, S. 202-215
- MITSCHERLICH, E. A. 1938: Untersuchungen über den Wasserverbrauch verschiedener Kulturpflanzen und den Wasserhaushalt des natürlich gelagerten Bodens. Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 9/10, S. 337-395
- MÜLLER, A. V. 1966: 11 Jahre Zuckerrüben-Beregnungsversuche auf leichten Böden in Niedersachsen. Z. Bewässerungswirtschaft 1, S. 49-63
- ÖZMEN, A. U. 1968: Ermittlung der für den Pflanzenwuchs kritischen Wasserhaushaltswerte des Bodens nach Untersuchungen auf verschiedenen Standorten und unter Anwendung unterschiedlicher Untersuchungsmethodik. Diss. Berlin
- PFAU, R. 1966: Ein Beitrag zur Frage des Wassergehaltes und der Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlich genutzter Böden im Raume der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft. Meteorologische Rundschau 19. Jahrg., Heft 2, S. 33-46
- PETINOV, N. S. 1962: Physiologische Grundlagen des bewässerten Ackerbaues. Priroda, Moskva 51, S. 59-67 russ. (ref. Landw. Zentralbl. S. 2934, 1962)
- REHDER, H. 1961: Saugkraftmessungen am mediterranen Immergrünen mit der Schardakov-Methode. Ber. d. Deut. Bot. Ges. 74, S. 84-92
- RIETZEL, P. 1959: Zur Ermittlung des physiologisch nutzbaren Wassers im Boden mit Hilfe des Gefäßversuches. Diss. Gießen
- SAFAR, N. H. 1968: Der Wasserhaushalt der Pflanze in Abhängigkeit vom Wasserhaushalt des Bodens und der Atmosphäre als Grundlage für die Beregnung. Diss. Gießen

- SCHAHIDINEJAD, S. 1963: Die Beregnung auf leichten Sandböden unter Berücksichtigung des Wasserhaushaltes des Bodens und der Pflanze sowie die Nährstoffverhältnisse in der Düngung. Diss. Gießen
- SCHARDAKOW, W. S. 1948: Neue Feldmethode zur Bestimmung der Saugkraft der Pflanzen. Dokl. Akad. Nauk SSSR. Tom LX Nr. 1, S. 169
- SCHRETZENMAYR, M. 1967: Untersuchungen zum Meßzeitpunkt bei der Schardakow-Methode. Naturwiss. 54, 94
- SEEMANN, J. 1969: Automatisch gesteuerte klimatisierende Beregnung. Z. Bewässerungswirtschaft, Heft 1, S. 73-77
- SEKERA, F. 1932: Die Nutzbarkeit des Bodenwassers. Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, A 26, S. 57-125
- SEKERA, F. 1944: Bodenfruchtbarkeit und Wasserhaushalt. D. Forschungsdienst Bd. 17, H. 2, S. 61-70
- STEUBING, L. 1965: Pflanzenökologisches Praktikum. Verlag Paul Parey Berlin und Hamburg
- STORCHSCHABEL, G. 1965: Der Einfluß des Wasserangebotszeitpunktes auf die Wurzel- und Ertragsbildung bei Körnermais. Die Bodenkultur 16, S. 314-320
- STOCKER, O. 1954: Der Wasser- und Assimilat-Haushalt südalgerischer Wüstenpflanzen. Ber. d. Deut. Bot. Ges. 67, S. 289-299
- TAHERI, A. R. 1972: Optimaler Zeitpunkt der Beregnung bei Mais unter Berücksichtigung der Düngung. Diss. Gießen
- TÜLLMANN, H. 1960: Düngung und Beregnung gehören zusammen. Wasser und Nahrung, Heft 4, S. 221-224
- URSPRUNG, A. 1930: Zur Terminologie und Analyse der osmotischen Zustandsgrößen. Z. f. Botanik 23, S. 183-202

- URSPRUNG, A.
und G. BLUM 1916: Über die Verteilung des osmotischen Wertes in der Pflanze. Über die periodischen Schwankungen des osmotischen Wertes. Über den Einfluß der Außenbedingungen auf den osmotischen Wert. Zur Methode der Saugkraftmessungen. Ber. d. Deut. Bot. Ges. 34, S. 88-142 u. 525-554
- VEIMEYER, F. 1956: Soil moisture. Handbuch der Pflanzenphysiologie III Springer-Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg
- WALTER, H. 1931: Die Hydratur der Pflanze und ihre physiologisch-ökologische Bedeutung. Fischer Verlag Jena
- WALTER, H. 1952: Kritisches zur Darstellung der osmotischen Zustandsgrößen in den verschiedenen Lehrbüchern der Botanik. Planta 40, S. 550-554
- WALTER, H. 1967: Die physiologischen Voraussetzungen für den Übergang der autotrophen Pflanzen vom Leben im Wasser zum Landleben. Z. Pflanzenphysiologie 56, S. 170-185
- WOBST, H. 1960: Wechselwirkung Beregnung und Düngung. Z. Wasser und Nahrung, Heft 3, S. 163-166
- ZILLMANN, K. H. 1957: Über den Wasserverbrauch einiger Kulturpflanzen am Standort in Abhängigkeit von den meteorologischen Faktoren und von der Bodenfeuchtigkeit. Z. Acker- und Pflanzenbau 104, S. 257-274
- ZWICKER, R. 1956: Die "Anwelktranspiration" im Blickfeld des Welkens der Pflanzen. Z. Acker- und Pflanzenbau 101, S. 431-452

A N H A N G

ABB 26

Klimadiagramm

nach WALTER Groß-Gerau 1972

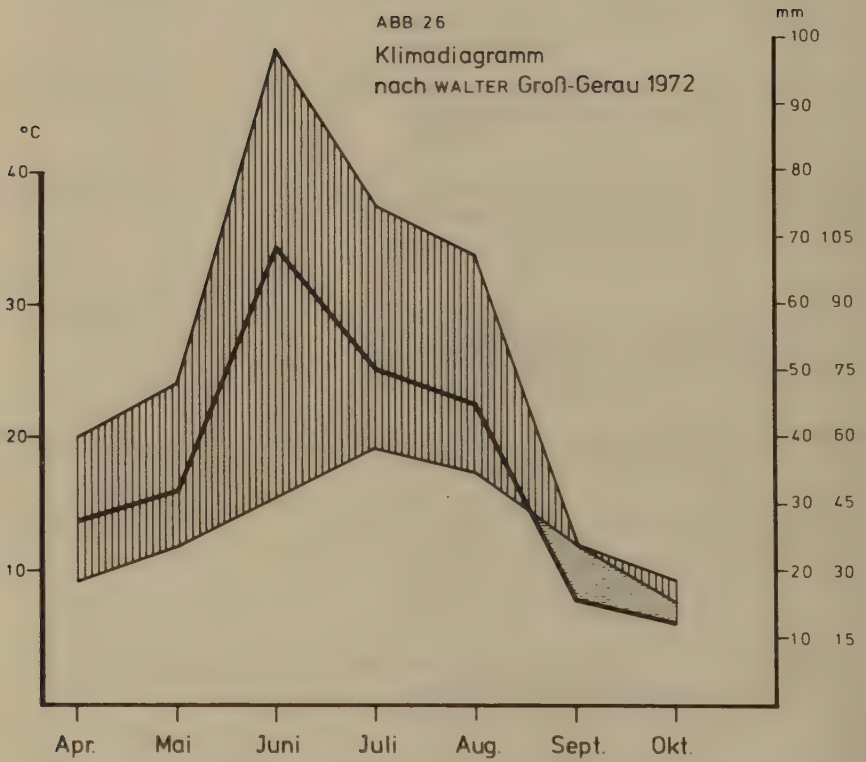


ABB. 27

Klimadiagramm nach WALTER Groß-Gerau 1973

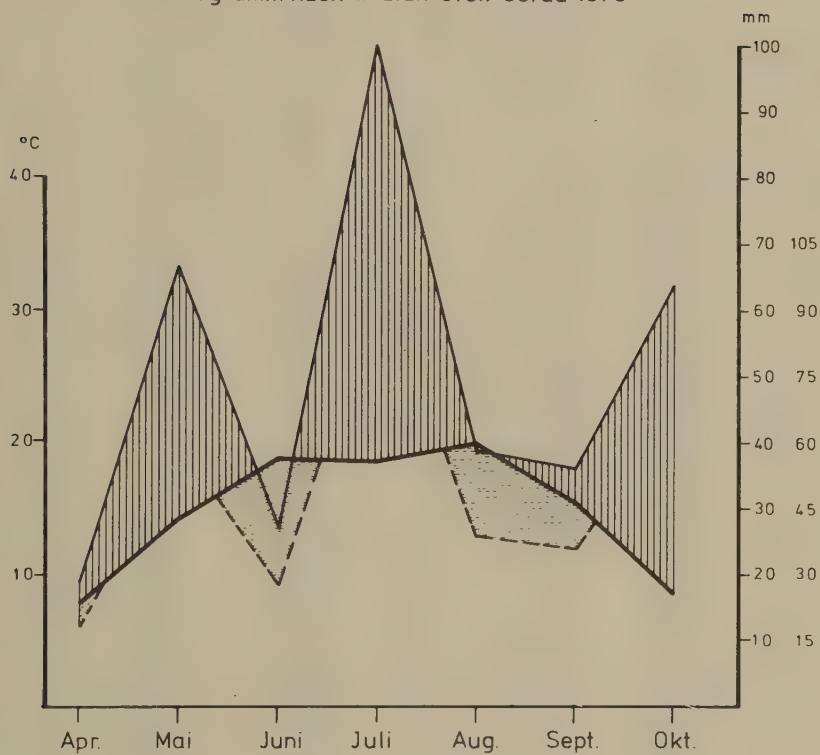


Tabelle 4: Bodenfeuchtigkeit bei Zuckerrüben auf Sandboden (Feld D) im Laufe der Vegetation 1972 (Angaben in mm)

Datum	Variante	mittlere Tages- Temp. °C	NS/mm x = bereg- net	0 - 40 mm	0 - 60 mm
1	2	3	4	5	6
29.5.	R ₀	14,5	0	68,50	86,48
1.6.	R ₀	12,4	1,1	64,08	87,63
5.6.	R ₀	19,9	0	56,54	71,64
6.6.	R ₀	15,8	15,8		
8.6.	R ₀	15,8	17,6	78,8	108,9
12.6.	R ₀	12,5	4,1	65,2	82,6
15.6.	R ₀	15,2	16,7	59,5	82,0
19.6.	R ₀	16,1	19,8	72,2	101,0
22.6.	R ₀	18,0	0	68,3	106,0
26.6.	R ₀	20,7	0	41,6	77,6
27.6.	R ₂	21,8	30 x	96,3	105,5
	R ₁		16 x		
29.6.	R ₀	15,9	6,8	47,7	80,4
	R ₁			57,3	79,0
	R ₂			74,6	97,7
3.7.	R ₁	14,3	30,5	72,0	90,9
5.7.	R ₀	21,9	0	68,2	89,9
	R ₂			78,0	102,6
6.7.	R ₀	17,6	0	62,8	86,4
	R ₁			67,6	90,6
	R ₂			74,7	99,4
10.7.	R ₁	16,9	54,1	75,8	98,5
13.7.	R ₀	16,8	0	74,7	102,0
	R ₁			69,0	126,0
	R ₂			79,6	117,5
17.7.	R ₀	25,3	0	49,4	69,4
	R ₁			48,1	60,0
	R ₂			52,4	83,4

Fortsetzung Tabelle 4

1	2	3	4	5	6
18.7.	R ₂	24,2	30 x	89,5	114,4
20.7.	R ₀	25,4	0	49,5	66,6
	R ₁			43,1	58,1
	R ₂			67,6	105,0
23.7.	R ₀	21,5	2,5		
24.7.	R ₀	21,9	0	33,7	46,8
	R ₁			34,8	49,9
	R ₂			54,6	88,0
25.7.	R ₁	20,5	42 x		
	R ₂		30 x	90,0	117,0
27.7.	R ₀	15,7	0	31,0	44,7
	R ₁			66,2	82,2
	R ₂			69,1	109,6
31.7.	R ₀	15,1	7,2	34,6	47,5
	R ₁			62,5	80,0
	R ₂			56,0	90,4
2.8.	R ₂	16,1	30 x	84,6	118,4
3.8.	R ₀	16,3	0,1	32,0	43,6
	R ₁			54,4	70,6
7.8.	R ₁	23,0	0	47,9	68,9
	R ₂			62,7	100,7
8.8.	R ₁	20,4	21 x		
10.8.	R ₁	21,4	9,2	64,9	78,5
	R ₂			65,0	95,1
11.8.	R ₀	17,4	14,8		
14.8.	R ₀	24,5	0	37,8	51,2
	R ₁			55,0	75,2
	R ₂			53,2	86,8
15.8.	R ₂	18,3	30 x	90,5	123,7
17.8.	R ₀	17,0	21,1	50,1	64,9
	R ₁			72,9	91,8
	R ₂			83,5	121,0

Fortsetzung Tabelle 4

1	2	3	4	5	6
21.8.	R ₀	13,0	19,2	48,3	61,8
	R ₁			68,8	82,3
	R ₂			76,4	115,3
24.8.	R ₀	15,5	1,5	46,3	59,7
	R ₁			60,0	74,5
	R ₂			72,5	116,3
28.8.	R ₀	15,8	0	55,6	72,2
	R ₂			68,1	110,6
29.8.	R ₁	17,3	20 x		
31.8.	R ₀	15,8	0	35,0	48,7
	R ₁			62,3	85,7
	R ₂			53,0	100,6
2.9.	R ₂	14,2	30 x	84,1	143,4
4.9.	R ₁	16,7	0	57,7	80,2
7.9.	R ₀	16,7	0,2	33,8	47,5
	R ₁			57,7	80,2
	R ₂			73,2	102,6
11.9.	R ₁	10,9	15,5	55,4	72,4
14.9.	R ₀	11,8	0,2	37,8	51,2
	R ₁			60,6	83,7
	R ₂			69,4	98,4
18.9.	R ₀	8,6	4,2	34,9	46,3
	R ₂			65,4	90,1
22.9.	R ₀	11,4	0,5	33,1	43,0
	R ₂			62,3	80,2
28.9.	R ₀	9,3	1,7	35,3	47,4
	R ₂			56,8	70,6
29.9.	R ₂	7,5	30 x	82,9	99,4
2.10.	R ₀	6,7	0	31,7	40,7
	R ₂			77,0	95,7

Erläuterungen zu Tabelle 4:

x = berechnet

R₀ = unberechnet

R₁ = berechnet nach Wetteramt Offenbach

R₂ = berechnet bei 50 % nutzbarer Feldkapazität

Tabelle 5: Bodenfeuchtigkeit bei Zuckerrüben auf Sandboden (Feld 1) im Laufe der Vegetation 1972 (Angaben in mm)

Datum	Variante	mittlere Tages- Temp. °C	NS/mm x = bereg- net	0 - 40 mm	0 - 60 mm
1	2	3	4	5	6
2.6.	R ₀	12,1	0,1	48,9	77,1
	R ₁			49,3	78,4
5.6.	R ₀	19,9	0	41,3	71,8
	R ₁			50,3	76,7
6.6.	R ₀	15,8	15,8		
8.6.	R ₀	15,8	17,6		
11.6.	R ₀	11,9	1,5	48,8	76,2
	R ₁			51,1	85,2
19.6.	R ₀	16,1	40,6	57,0	85,2
	R ₁			53,0	83,1
22.6.	R ₀	18,0	0	50,1	76,2
	R ₁			50,1	80,7
26.6.	R ₀	20,7	0	34,9	60,0
27.6.	R ₁	21,8	0	43,7	70,2
	R ₂		20 x	65,6	88,7

Fortsetzung Tabelle 5

1	2	3	4	5	6
29.6.	R ₀	15,9	6,8	39,2	68,8
	R ₁			44,6	73,2
	R ₂			54,3	78,7
5.7.	R ₀	21,9	30,5	51,1	85,5
	R ₁			53,7	85,4
	R ₂			57,2	87,5
13.7.	R ₀	16,8	54,1	67,2	88,2
	R ₁			58,2	90,1
	R ₂			60,2	90,6
15.7.	R ₀	20,5	0	46,4	78,0
	R ₁			51,3	82,6
	R ₂			50,8	80,3
17.7.	R ₀	25,3	0	41,1	72,1
	R ₁			51,6	80,5
	R ₂			44,5	79,3
19.7.	R ₀	24,1	0	35,6	68,6
	R ₂			36,4	69,1
20.7.	R ₂	25,4	20 x	64,2	91,7
22.7.	R ₀	20,6	0	27,2	51,0
	R ₁			46,6	75,9
	R ₂			55,5	80,4
26.7.	R ₀	17,8	2,6	25,9	48,5
	R ₁			34,6	59,1
	R ₂			37,9	63,4
27.7.	R ₂	15,7	20 x	62,1	88,6
31.7.	R ₀	15,1	7,2	26,2	47,8
	R ₁			36,8	56,4
	R ₂			52,3	76,7
2.8.	R ₀	16,1	0	20,7	40,2
	R ₁			28,4	47,2
	R ₂			40,2	62,2

Fortsetzung Tabelle 5

1	2	3	4	5	6
4.8.	R ₂	16,9		35,3	54,2
5.8.	R ₀	18,5		14,1	29,5
	R ₂		20 x	63,0	87,4
10.8.	R ₀	21,5	9,2	22,2	42,7
	R ₁			29,4	55,3
	R ₂			54,7	76,8
11.8.	R ₀	17,4	14,8		
14.8.	R ₀	24,5	0	30,9	53,6
	R ₁			40,7	58,6
	R ₂			50,3	81,2
17.8.	R ₀	17,0	21,1	42,2	61,2
	R ₁			46,2	64,2
	R ₂			63,3	90,8
21.8.	R ₀	13,0	19,2	42,8	62,2
	R ₁			42,1	57,4
	R ₂			61,4	88,8
29.8.	R ₀	17,0	1,5	36,4	55,8
	R ₂			46,0	76,9
31.8.	R ₀	15,8	0	29,3	50,6
	R ₂			39,3	65,9
2.9.	R ₀	14,2	0	25,4	44,2
	R ₂			34,4	58,0
3.9.	R ₂	17,1	20 x	62,8	94,0
6.9.	R ₀	16,6	0	21,2	43,1
	R ₂			47,7	77,4
13.9.	R ₀	9,8	15,7	33,4	52,7
	R ₂			53,3	86,2
22.9.	R ₀	11,4	4,7	31,5	51,5
	R ₂			46,6	68,4
28.9.	R ₀	9,3	0,5	27,5	43,2
	R ₂			43,1	61,4

Erläuterungen zu Tabelle 5

- x = berechnet
 R_0 = unberechnet
 R_1 = automatisch berechnet
 R_2 = berechnet bei 50 % nutzbarer Feldkapazität

Tabelle 6: Bodenfeuchtigkeit bei Zuckerrüben auf humosem Lehm
(Feld im Kollenbruch) im Laufe der Vegetation 1972
(Angaben in mm)

Datum	Variante	mittlere Tages- Temp. °C	NS/mm x = bereg- net	0 - 40 mm	0 - 60 mm
1	2	3	4	5	6
29.5.	R_0	14,5	0	105,0	148,8
1.6.	R_0	12,4	1,1	99,5	143,2
5.6.	R_0	19,9	0	92,5	137,0
6.6.	R_0	15,8	15,8		
8.6.	R_0	15,8	17,6	113,3	156,3
12.6.	R_0	12,5	4,1	100,6	130,6
	R_1			104,2	148,6
15.6.	R_0	15,2	16,7	93,5	132,6
	R_1			98,4	144,9
19.6.	R_0	16,1	19,8	101,8	137,0
	R_1			109,3	157,2
22.6.	R_0	18,0	0	92,9	129,0
	R_1			114,5	167,2
26.6.	R_0	20,7	0	80,9	121,5
	R_1			85,0	125,6
27.6.	R_2	21,8	20 x	110,5	147,5

Fortsetzung Tabelle 6

1	2	3	4	5	6
29.6.	R ₀	15,9	6,8	74,5	107,3
	R ₁			87,4	128,0
	R ₂			101,3	133,8
3.7.	R ₁	14,3	30,5	110,1	154,2
5.7.	R ₀	21,9	0	98,7	133,2
	R ₂			104,5	146,8
6.7.	R ₁	17,6	0	103,3	151,6
10.7.	R ₀	16,9	54,1	109,4	146,7
	R ₁			110,3	159,4
13.7.	R ₀	16,8	0	106,2	149,3
	R ₁			107,1	156,5
	R ₂			106,5	149,8
17.7.	R ₀	25,3	0	86,8	135,4
	R ₁			89,0	137,3
	R ₂			99,3	134,1
19.7.	R ₂	24,1	0	81,4	117,2
20.7.	R ₀	25,4		74,5	117,6
	R ₁			76,5	123,3
	R ₂		20 x	109,7	149,8
23.7.	R ₀	21,5	2,5		
24.7.	R ₀	21,9	0	76,4	108,6
	R ₁			79,8	124,9
	R ₂			92,6	134,3
27.7.	R ₀	15,7	0	68,7	100,1
	R ₁			71,9	118,1
	R ₂			84,4	112,8
29.7.	R ₂	16,4	0	79,2	103,9
30.7.	R ₂	17,0	20 x	102,6	135,8
31.7.	R ₀	15,1	7,2	70,5	102,2
	R ₁			75,3	119,7

Fortsetzung Tabelle 6

1	2	3	4	5	6
3.8.	R ₀	16,3	0,1	59,8	85,6
	R ₁			75,8	118,1
	R ₂			85,6	115,1
6.8.	R ₂	18,4	0	78,9	104,7
7.8.	R ₁	23,0		76,7	121,9
	R ₂		20 x	98,9	132,1
9.8.	R ₁	21,5	14 x		
10.8.	R ₀	21,4	9,2	55,2	79,8
	R ₁			92,3	136,8
	R ₂			100,1	132,9
11.8.	R ₀	17,4	14,8		
14.8.	R ₁	24,5	0	86,5	118,0
17.8.	R ₀	17,0	21,1	82,9	101,6
	R ₁			108,3	156,2
	R ₂			114,0	158,8
21.8.	R ₁	13,0	19,2	106,4	154,8
24.8.	R ₀	15,5	1,5	82,8	103,3
	R ₁			101,3	146,7
	R ₂			107,6	148,5
28.8.	R ₁	15,8	0	85,1	125,4
	R ₂			90,6	127,3
31.8.	R ₀	15,8	0	65,4	90,4
	R ₁			72,7	104,4
	R ₂			77,9	104,8
1.9.	R ₂	13,0	20 x	108,1	151,1
4.9.	R ₀	16,7	0	70,1	102,2
7.9.	R ₀	16,7	0,2	52,7	73,0
	R ₁			69,5	103,3
	R ₂			89,9	126,4
11.9.	R ₀	10,9	15,5	78,9	119,5

Fortsetzung Tabelle 6

1	2	3	4	5	6
14.9.	R ₀	11,8	0,2	81,7	76,7
	R ₁			81,7	116,8
	R ₂			88,4	117,7
18.9.	R ₀	8,6	4,2	63,1	80,0
	R ₂			89,6	119,5
23.9.	R ₀	11,6	0	62,3	76,9
	R ₂			87,6	118,7
28.9.	R ₀	9,3	1,7	60,1	78,5
	R ₂			85,9	117,6
2.10.	R ₀	6,7	0	56,9	70,1
	R ₂			83,7	114,6

x = berechnet

R₀ = unberechnet

R₁ = berechnet nach Wetteramt Offenbach

R₂ = berechnet bei 60 % nutzbarer Feldkapazität

Tabelle 7: Wasserbilanz des Bodens im Laufe der Vegetation 1972 (0-60 cm) bei Zuckerrüben auf Sandboden (Feld D)
(Angaben in mm)

R_0 = unberechnet

Untersuchungstermine	29.5.	1.6.	5.6.	8.6.	12.6.	15.6.	19.6.	22.6.	26.6.	29.6.	5.7.	13.7.	20.7.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	86,5	87,6	71,6	109,0	82,6	82,0	101,0	106,0	77,6	80,4	89,9	101,2	66,7
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	-1,1	16,0	-37,4	26,4	0,6	-19,0	-5,0	29,6	-2,8	-9,5	-11,3	34,5	
Natürlicher Regen zwisch. 2 Terminen	2,1	6,8	26,6	2,2	1,9	36,5	0,2	-	6,8	31,3	54,1	0,9	
Wasserverbrauch WV	1,0	22,8	-	28,6	2,5	17,5	-	29,6	4,0	21,8	42,8	35,4	
Wasserverbrauch/Tag	0,3	5,7	-	7,2	0,8	4,3	-	7,4	11,3	3,6	5,4	7,1	

R_1 = berechnet nach Wetteramt

Untersuchungstermine	29.5.	1.6.	5.6.	8.6.	12.6.	15.6.	19.6.	22.6.	26.6.	29.6.	3.7.	6.7.	10.7.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	86,5	87,6	71,6	109,0	82,6	82,0	101,0	106,0	77,6	79,0	90,9	90,7	98,5
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	-1,1	16,0	-37,4	26,4	0,6	-19,0	-5,0	29,6	-1,4	-11,9	0,2	-7,8	
Natürlicher Regen zwisch. 2 Terminen	2,1	6,8	26,6	2,2	1,9	36,5	0,2	-	6,8	30,5	0,8	17,3	
Künstlicher Regen zwisch. 2 Terminen	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	
Gesamtniederschlag N	2,1	6,8	26,6	2,2	1,9	36,5	0,2	-	22,8	30,5	0,8	17,3	
Wasserverbrauch WV	1,0	22,8	-	28,6	2,5	17,5	-	29,6	21,4	18,6	1,0	9,5	
Wasserverbrauch/Tag	0,3	5,7	-	7,2	0,8	4,3	-	7,4	7,1	4,7	0,3	2,4	

Fortsetzung Tabelle 7

R_0 = unberechnet

Untersuchungstermine	20.7.	26.7.	31.7.	3.8.	10.8.	17.8.	24.8.	30.8.	7.9.	13.9.	22.9.	28.9.	2.10.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	66,7	44,7	47,5	43,6	43,7	46,9	59,7	48,7	47,5	51,2	43,0	47,4	44,6
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	22,0	-2,8	3,9	-0,1	-21,2	5,2	11,0	1,2	-3,7	8,2	-4,4	2,8	
Natürlicher Regen zwisch. 2 Terminen	3,7	7,2	1,9	9,2	35,9	20,7	-	0,2	15,8	4,7	3,7	1,7	
Wasserverbrauch WV	25,7	4,4	5,8	9,1	14,7	25,9	11,0	1,4	12,1	12,9	-	4,5	
Wasserverbrauch/Tag	4,3	0,9	1,9	1,3	2,1	3,7	1,8	0,2	2,0	1,4	-	0,9	

R_1 = berechnet nach Wetteramt

Untersuchungstermine	10.7.	13.7.	17.7.	20.7.	24.7.	27.7.	31.7.	3.8.	7.8.	10.8.	14.8.	17.8.	
Bodenfeuchte W (0-60cm)	98,5	126,0	90,0	58,1	50,0	82,2	80,0	70,6	68,9	78,5	75,2	91,9	
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	-27,5	36	31,9	8,1	-32,2	2,2	10,6	1,7	-9,6	3,3	-16,7		
Natürlicher Regen zwisch. 2 Terminen	36,8	-	0,9	1,7	2,0	7,2	1,9	-	9,2	14,8	21,1		
Künstlicher Regen zwisch. 2 Terminen	-	-	-	-	42	-	-	-	21	-	-		
Gesamtniederschlag N	36,8	-	0,9	1,7	44,0	7,2	1,9	-	30,2	14,8	21,1		
Wasserverbrauch WV	9,3	36	32,8	9,8	11,8	9,4	12,5	1,7	20,6	18,1	4,4		
Wasserverbrauch/Tag	3,4	9,2	8,2	2,5	3,9	2,4	4,2	0,4	6,9	4,5	1,5		

Fortsetzung Tabelle 7

R_1 = beregnet nach Wetteramt

Untersuchungstermine	17.8.	21.8.	24.8.	28.8.	31.8.	4.9.	7.9.	11.9.	14.9.	22.9.	28.9.	2.10.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	91,9	82,2	74,5	72,2	85,7	80,2	74,4	72,4	83,7	71,3	66,5	60,2
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	9,7	7,7	2,3	-13,5	5,5	5,8	2,0	-11,3	12,4	4,8	6,3	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	19,2	1,5	-	-	-	0,2	7,1	8,7	4,7	3,7	-	
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	
Gesamtniederschlag N	19,2	1,5	-	-	20	0,2	7,1	8,7	4,7	3,7	-	
Wasserverbrauch WV	29,9	9,2	2,3	6,5	5,5	6,0	9,1	-	17,1	8,5	6,3	
Wasserverbrauch/Tag	7,5	3,1	0,6	2,2	1,4	2,0	3,0	-	2,1	1,4	1,6	

R_2 = beregnet bei 50 % nFK

Untersuchungstermine	29.5.	1.6.	5.6.	8.6.	12.6.	15.6.	19.6.	22.6.	26.6.	27.6.	29.6.	5.7.	13.7.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	86,5	87,6	71,6	109,0	82,6	82,0	101,0	106,0	77,6	105,5	97,7	102,6	117,5
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	-1,1	16,0	-37,4	26,4	0,6	-19,0	-5,0	29,6	-27,9	7,8	-4,9	-14,9	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	2,1	6,8	26,6	2,2	1,9	36,5	0,2	-	-	6,8	31,3	54,1	
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	
Gesamtniederschlag N	2,1	6,8	26,6	2,2	1,9	36,5	0,2	-	30	6,8	31,3	54,1	
Wasserverbrauch WV	1,0	22,8	-	28,6	2,5	17,5	-	29,6	2,1	14,6	26,4	39,2	
Wasserverbrauch/Tag	0,3	5,7	-	7,2	0,8	4,3	-	7,4	2,1	7,3	4,4	4,9	

Fortsetzung Tabelle 7

R_2 = berechnet bei 50 % nFK

Untersuchungstermine	13.7.	17.7.	18.7.	20.7.	23.7.	24.7.	31.7.	1.8.	7.8.	10.8.	14.8.	15.8.	19.8.	24.8.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	117,5	83,4	111,4	105,0	88,0	117,0	90,4	118,4	100,7	95,1	86,8	123,7	119,3	116,3
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	34,1	-28,0	6,4	17,0	-29,0	26,6	-28,0	17,7	5,6	8,3	-36,9	4,4	3,0	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	-	-	0,9	1,7	-	9,2	1,8	0,1	9,2	14,8	8,7	27,4	5,7	
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	30	-	30	30	-	30	-	-	-	30	-	-	
Gesamtniederschlag N	-	30	0,9	1,7	30	9,2	31,8	0,1	9,2	14,8	38,7	27,4	5,7	
Wasserverbrauch WV	34,1	2	7,3	18,1	1,0	35,8	3,8	17,8	14,8	23,1	1,8	31,8	8,7	
Wasserverbrauch/Tag	8,5	2	3,7	6,2	1,0	6,0	3,8	3,6	4,9	7,7	1,8	8,0	1,7	

R_2 = berechnet bei 50 % nFK

Untersuchungstermine	24.8.	28.8.	31.8.	1.9.	7.9.	13.9.	18.9.	22.9.	28.9.	29.9.	2.10.
----------------------	-------	-------	-------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Bodenfeuchte W (0-60cm)	116,3	110,6	89,6	118,4	102,6	98,4	90,1	80,2	70,6	99,4	95,7	-	110	-
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	5,7	21,0	-28,8	15,8	4,2	8,3	9,9	9,6	-28,8	3,7				
Natürl. Regen zw. 2 Term.	-	-	-	0,2	15,8	4,2	0,5	3,7	-	-				
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	-	30	-	-	-	-	-	30	-				
Wasserverbrauch WV	-	-	30	0,2	15,8	4,2	0,5	3,7	30	-				
Wasserverbrauch/Tag	1,9	7,0	1,2	3,2	3,3	2,5	2,6	2,1	1,2	0,9				

Tabelle 9: Saugspannung und Transpiration (Indipa-Methode) bei Zuckerrüben auf Sandboden (Feld D) im Laufe der Vegetation 1972

Datum	Variante	T/°C	NS/mm x = bereg- net	Luft- feuchte %	Saugspan- nung atm	Trans- piration ₂ mg/cm ²
1	2	3	4	5	6	7
29.5.	R ₀	23	0	53	8,6	
5.6.	R ₀	28	0	44	9,38	
6.6.	R ₀	22	15,8	75	6,09	
8.6.	R ₀	21	17,6	74	5,97	
14.6.	R ₀	21,3	0	54	6,51	
19.6.	R ₀	17	19,8	78	6,05	
21.6.	R ₀	21	0	63	7,08	
26.6.	R ₀	29	0	48	9,87	
27.6.	R ₀	31	0	43	11,95	
	R ₂	31	30 x	43	8,35	
29.6.	R ₀	19	6,8	91	7,65	
	R ₂	19	6,8	91	6,79	
3.7.	R ₀	18,3	30,5	92		
4.7.	R ₀	19	0	84	6,98	
	R ₂	19	0	84	6,61	
5.7.	R ₀	25	0	52	7,27	
	R ₂	25	0	52	7,17	
10.7.	R ₀	18,9	54,1	92		
11.7.	R ₀	22	0	48	7,17	
	R ₂	22	0	48	6,98	
13.7.	R ₀	24	0	39	9,16	
	R ₂	24	0	39	8,71	
14.7.	R ₀	24,3	0	44	10,27	
	R ₂	24,3	0	44	9,24	
17.7.	R ₀	34	0	43	12,69	
	R ₂	34	0	43	11,95	

Fortsetzung Tabelle 9

1	2	3	4	5	6	7
18.7.	R_0	35	0	42	13,44	
	R_2	35	30 x	42	7,84	
19.7.	R_0	35	0	42	13,74	
	R_2	35	0	42	7,94	
21.7.	R_0	33	0	45	13,88	
	R_2	33	0	45	9,58	
24.7.	R_0	34	0	47	14,10	
	R_2	34	0	47	10,44	
25.7.	R_0	24,7	0	57		
	R_2	24,7	30 x	57		
26.7.	R_0	23,6	2,5	59	11,80	
	R_2	23,6	2,5	59	8,63	
31.7.	R_0	18,6	7,2	84		
1.8.	R_0	22,7	0	49	14,52	
	R_2	22,7	0	49	10,45	
2.8.	R_0	22	0	52	14,32	
	R_2	22	30 x	52	8,12	
8.8.	R_0	25,3	0	68	13,48	
	R_2	25,3	0	68	9,62	
10.8.	R_0	26,3	9,2	57	14,85	
	R_2	26,3	9,2	57	10,27	
11.8.	R_0	23,6	14,8	81		
14.8.	R_0	25	0	60	12,58	
	R_2	25	0	60	9,66	
15.8.	R_0	22,6	0	52	13,06	
	R_2	22,6	30 x	52	8,13	
17.8.	R_0	23	21,1	68	9,08	
	R_2	23	21,1	68	7,85	
21.8.	R_0	18,3	19,9	74		
23.8.	R_0	21,3	1,5	67	8,13	
	R_2	21,3	1,5	67	7,64	0,083

Fortsetzung Tabelle 9

1	2	3	4	5	6	7
28.8.	R ₀	22,1	0	44	11,74	
	R ₂	22,1	0	44	9,08	0,062
29.8.	R ₀	23,2	0	46	12,16	
	R ₂	23,2	0	46	10,07	0,050
1.9.	R ₀	22,1	0	45	13,66	
	R ₂	22,1	0	45	10,59	0,035
2.9.	R ₀	24,3	0	42	14,95	
	R ₂	24,3	30 x	42	8,42	
5.9.	R ₀	22,3	0	48	15,85	
	R ₂	22,3	0	48	9,16	0,080
7.9.	R ₀	23,3	0,2	49	16,99	
	R ₂	23,3	0,2	49	9,77	0,068
11.9.	R ₀	19,3	15,5	66	14,13	
	R ₂	19,3	15,5	66	9,16	
13.9.	R ₀	16,4	0,1	79	11,74	
	R ₂	16,4	0,1	79	8,90	0,074
14.9.	R ₀	12,3	0,2	49	13,77	
	R ₂	12,3	0,2	49	10,07	
22.9.	R ₀	12,1	0,5	68	13,94	
	R ₂	12,1	0,5	68	9,72	
25.9.	R ₀	15	2,0	62	14,31	
	R ₂	15	2,0	62	9,24	0,018
28.9.	R ₀	11,3	1,7	61	15,07	
	R ₂	11,3	1,7	61	10,17	
29.9.	R ₀	12,3	0	65	16,94	
	R ₂	12,3	30 x	65	8,13	0,048
2.10.	R ₀	11,7	0	71	18,13	
	R ₂	11,7	0	71	9,68	0,036

Tabelle 12: Bodenfeuchtigkeit bei Zuckerrüben auf Sandboden (Feld 4)
im Laufe der Vegetation 1973 (Angaben in mm)

Datum	Variante	mittlere Tages- Temp. °C	NS/mm x = bereg- net	0 - 40 mm	0 - 60 mm
27.4.	R ₀	12,8	0	45,3	70,9
28.4.	R ₂	13,1	30 x	72,1	96,0
3.5.	R ₀	15,5	19,4	65,7	86,4
	R ₂			69,5	91,2
9.5.	R ₀	14,2	18,9	62,5	86,9
	R ₂			69,1	95,9
15.5.	R ₀	9,4	1,5	56,3	81,9
	R ₂			62,0	87,7
22.5.	R ₀	16,5	14,5	59,7	93,7
	R ₂			66,5	98,1
24.5.	R ₀	14,8	8,0	61,0	96,0
28.5.	R ₀	11,9	0	55,3	90,3
	R ₂			56,5	93,4
31.5.	R ₀	18,0	6,8	59,6	94,6
2.6.	R ₂	13,9	4,3	53,8	90,7
4.6.	R ₀	18,0	0	56,2	92,3
	R ₂			46,1	77,3
6.6.	R ₂	17,8	30 x	73,3	98,2
7.6.	R ₀	18,1	5,2	55,3	91,9
11.6.	R ₀	17,6	0,7	50,3	81,5
	R ₂			63,2	91,1
14.6.	R ₀	15,3	2,8	46,8	78,0
	R ₂			54,1	79,1
17.6.	R ₂	22,3	0	46,3	73,2
	R ₃		35 x	73,9	110,7
18.6.	R ₁	19,8	18 x	59,1	95,6
19.6.	R ₀	16,1	0	36,3	62,5
	R ₂		30 x	72,4	102,7

Fortsetzung Tabelle 12

1	2	3	4	5	6
21.6.	R ₁	15,9	0	51,6	80,7
	R ₃			64,4	102,8
22.6.	R ₂	19,0	0	51,6	86,2
25.6.	R ₀	19,8	12,8	32,6	63,0
	R ₁			44,0	80,6
	R ₂			39,7	73,5
	R ₃			49,4	87,8
26.6.	R ₂	21,9.	30 x	74,4	101,5
28.6.	R ₁	21,4	1,7	34,1	68,5
	R ₃			41,4	72,9
29.6.	R ₂	19,7	0,2	52,2	82,2
2.7.	R ₀	24,4	0	25,9	52,5
	R ₁			28,4	59,9
	R ₂			48,2	75,5
	R ₃			33,3	66,8
3.7.	R ₂	24,6	30 x	75,4	104,8
	R ₃		35 x	75,9	99,7
5.7.	R ₁	25,4	24 x	54,6	83,0
	R ₂			45,5	71,9
6.7.	R ₂	24,6	30 x	76,7	106,5
7.7.	R ₃	19,9	0	65,4	90,2
8.7.	R ₂	20,0	0	61,4	85,5
9.7.	R ₀	20,7	0	23,6	47,7
	R ₁			35,3	61,3
10.7.	R ₃	20,6	0	40,1	66,1
11.7.	R ₂	19,1	0,7	39,2	77,1
12.7.	R ₁	18,5	19 x	51,0	77,8
	R ₂		30 x	78,6	107,5
	R ₃		35 x	73,9	100,1
16.7.	R ₀	20,8	17,8	28,3	48,3
	R ₁			45,5	77,1

Fortsetzung Tabelle 12

1	2	3	4	5	6
19.7.	R ₀	17,8	25,4	37,4	61,7
	R ₁			50,8	84,1
	R ₂			67,7	89,1
	R ₃			64,4	86,3
23.7.	R ₁	14,0	18,7	55,5	88,2
25.7.	R ₀	14,4	5,5	45,1	67,2
	R ₂			56,9	88,1
	R ₃			63,5	93,9
26.7.	R ₁	15,3	2,7	59,9	92,6
30.7.	R ₁	19,4	10,7	52,9	82,8
1.8.	R ₀	21,4	0	39,6	61,7
	R ₂			54,4	89,3
	R ₃			63,3	100,2
2.8.	R ₁	19,8	0	40,9	71,0
6.8.	R ₁	21,0	1,6	31,4	60,0
	R ₂			48,0	77,3
8.8.	R ₀	15,6	12,1	31,9	47,7
	R ₂			53,9	81,2
	R ₃			66,0	98,6
9.8.	R ₁	17,2	0	34,7	63,2
10.8.	R ₂	19,6	0	46,8	74,6
11.8.	R ₂	22,3	30 x	77,5	103,1
13.8.	R ₁	23,0	0	24,7	49,9
	R ₂			62,8	87,4
14.8.	R ₃	20,5	0	45,5	72,3
15.8.	R ₀	20,7	0	21,2	37,8
	R ₂			45,9	74,1
	R ₃		35 x	72,5	103,3
16.8.	R ₁	21,6	36 x	60,0	88,8
	R ₂		30 x	78,8	103,8

Fortsetzung Tabelle 12

1	2	3	4	5	6
20.8.	R ₀	20,7	10,3	29,4	49,0
	R ₁			53,0	83,1
	R ₃			60,4	87,4
22.8.	R ₂	17,9	0,3	57,1	83,1
	R ₃			49,0	78,7
23.8.	R ₁	18,4	0	43,9	74,6
27.8.	R ₁	21,2	0	30,7	58,0
	R ₂			44,8	70,9
	R ₃			40,9	65,1
28.8.	R ₀	21,7		21,1	37,3
	R ₂		30 x	75,5	100,7
	R ₃		35 x	76,5	99,4
30.8.	R ₀	18,1	24 x	21,9	38,3
	R ₁			55,4	82,4
	R ₂			64,3	90,1
4.9.	R ₀	20,4	1,4	21,9	38,3
	R ₁			45,9	73,3
	R ₂			48,5	72,7
	R ₃			57,1	87,6
6.9.	R ₁	22,3	0	38,7	65,0
	R ₂		30 x	78,1	101,5
10.9.	R ₁	14,5	0	30,5	54,9
	R ₂			61,3	93,2
11.9.	R ₀	11,5	0	20,7	36,8
	R ₃			44,9	73,5
13.9.	R ₁	12,7	30 x	56,4	84,3
	R ₂			53,5	82,2
	R ₃		35 x	77,3	105,5
17.9.	R ₀	17,3	3,9	21,9	36,7
	R ₁			50,0	78,2
18.9.	R ₂	17,1	0	45,9	71,1

Fortsetzung Tabelle 12

1	2	3	4	5	6
19. 9.	R ₂	15,8	30 x	73,5	100,3
20. 9.	R ₁	14,0	19,7	43,1	70,9
	R ₃			60,4	83,2
24. 9.	R ₀	8,9	9,2	44,6	58,7
	R ₁			57,1	92,3
	R ₂			68,0	107,2
27. 9.	R ₁	12,5	0	54,5	88,1
	R ₃			65,7	86,3
28. 9.	R ₀	13,8	3,2	41,0	54,3
1. 10.	R ₁	11,5	0,6	52,1	87,5
	R ₂			58,2	92,5
	R ₃			61,4	85,6
2. 10.	R ₀	12,7	0	39,5	52,5
4. 10.	R ₁	12,4	0	48,0	80,3
	R ₂			51,6	88,5
	R ₃			62,3	80,9
8. 10.	R ₁	11,6	10,7	51,2	85,9
9. 10.	R ₀	11,0	1,5	38,7	51,1
	R ₂			53,7	87,4
	R ₃			63,1	80,1

x = berechnet

R₀ = unberechnet

R₁ = berechnet nach Wetteramt Offenbach

R₂ = berechnet bei 50 % nutzbarer Feldkapazität

R₃ = berechnet nach Irrrometer

Tabelle 13: Irrrometerwerte, Bodenfeuchtigkeit und Saugspannung bei Zuckerrüben auf Sandboden (Feld 4) im Laufe der Vegetation 1973

Datum	NS/mm x = be- regnet	Irrrometerwert		Bodenfeuchte		Saugspan- nung der Pflanze atm
		30 cm	60 cm	0-30 cm mm	0-60 cm mm	
1	2	3	4	5	6	7
27.4.	0	0	0	33,4	71,0	
3.5.	19,4	0	0	52,5	86,4	
9.5.	18,6	0	0	51,1	86,9	
15.5.	1,8	0	0	44,4	81,9	
22.5.	14,5	0	0	44,8	93,7	
24.5.	8,0	0	0	48,9	96,0	
28.5.	0	10	0	42,0	90,3	
31.5.	6,8	8	0	48,3	94,6	
4.6.	4,3	22	8	42,6	92,3	
7.6.	5,2	38	20	39,8	91,9	
11.6.	0,7	46	20	36,2	81,5	
14.6.	2,8	50	20	34,0	78,0	
16.6.	0	58	22			12,8
17.6.	35 x	0	19	58,5	110,7	
18.6.	0	0	20			8,5
21.6.	0,1	2	22	50,3	102,8	
25.6.	12,8	8	21	41,2	87,8	
26.6.	0	9	21			10,4
28.6.	1,7	12	21	35,7	72,9	
30.6.	0,2	20	27			
2.7.	0	46	32	29,3	66,8	13,5
3.7.	35 x	0	30	59,8	99,7	7,9
7.7.	0	0	33	51,0	90,2	
9.7.	0	22	48			
10.7.	0	33	61	31,6	66,1	
11.7.	0,7	46	66			11,2

Fortsetzung Tabelle 13

1	2	3	4	5	6	7
12.7.	35 x	0	67	57,1	100,1	7,9
13.7.	3,7	0	54			
17.7.	25,9	0	44			8,0
19.7.	13,6	0	42	49,5	86,3	
23.7.	18,7	0	16			
25.7.	5,5	0	18	47,9	93,9	7,9
1.8.	14,3	4	23	46,8	100,2	
6.8.	1,6	10	24			
7.8.	12,0	20	25			
8.8.	0,1	9	28	48,6	98,6	
9.8.	0	18	32			9,4
13.8.	0	43	50			11,7
14.8.	0	47	54	36,7	72,3	12,4
15.8.	35 x	0	51	57,6	103,3	9,1
20.8.	10,3	7	55	46,4	87,4	
22.8.	0,3	14	60	39,6	78,7	
27.8.	0	43	70	30,7	65,1	13,2
28.8.	35 x	0	70	58,9	99,4	9,8
30.8.	13,3	0	52			
3.9.	1,4	0	16			
4.9.	0	8	19	43,1	87,6	10,1
7.9.	0	16	22			
10.9.	0	38	26			
11.9.	0	46	34	32,8	73,5	
12.9.	0	48	35			12,2
13.9.	35 x	0	30	59,8	105,5	8,3
17.9.	3,9	0	24			
19.9.	0	9	26			
20.9.	19,7	0	17	49,6	83,2	
25.9.	9,2	0	15			8,6

Fortsetzung Tabelle 13

1	2	3	4	5	6	7
27. 9.	0	0	13	52,3	86,3	
1.10.	3,7	0	18	47,4	85,6	
4.10.	0	0	16	45,8	80,9	
9.10.	10,9	0	14	47,1	80,1	

Tabelle 14: Bodenfeuchtigkeit bei Zuckerrüben auf Sandboden (Feld 2)
im Laufe der Vegetation 1973 (Angaben in mm)

Datum	Variante	mittlere Tages- temp. °C	NS/mm x = bereg- net	0-40 mm	0-60 mm
1	2	3	4	5	6
27.4.	R ₀ , R ₁	12,8	0	39,0	67,2
3.5.	R ₀ , R ₁	15,5	19,4	51,1	77,0
9.5.	R ₀ , R ₁	14,2	18,9	49,8	76,3
15.5.	R ₀ , R ₁	9,4	1,5	41,9	66,6
17.5.	R ₀ , R ₁	12,1	0	37,4	60,2
	R ₂		25 x	64,6	94,3
22.5.	R ₀ , R ₁	16,5	14,5	52,3	86,5
	R ₂			59,2	94,4
28.5.	R ₀ , R ₁	11,9	8,0	41,9	73,5
	R ₂			43,1	80,6
2.6.	R ₀ , R ₁	13,9	11,1	43,2	71,5
4.6.	R ₂	18,0	0	40,6	70,7
6.6.	R ₀ , R ₁	17,8	0	39,4	65,9
	R ₂		25 x	63,0	92,6

Fortsetzung Tabelle 14

1	2	3	4	5	6
11.6.	R_2	17,6	5,9	47,2	79,5
13.6.	R_0, R_1	19,6	2,6	34,4	57,8
	R_2			44,3	74,4
18.6.	R_2	19,8	0,8	37,8	64,5
19.6.	R_0, R_1	20,2	0	29,1	53,6
	R_2		25 x	62,8	90,3
20.6.	R_2	19,0	0	45,3	71,6
25.6.	R_0, R_1	19,8	12,8	25,7	46,5
	R_2			39,1	58,1
26.6.	R_2	21,9	25 x	64,3	92,0
29.6.	R_2	19,7	1,9	45,8	76,6
2.7.	R_0, R_1	24,4	0	22,5	39,3
	R_2			33,9	54,7
3.7.	R_2	24,6	25 x	61,9	90,8
5.7.	R_0, R_1	25,4	0	17,7	33,8
	R_2			44,8	76,1
9.7.	R_2	20,7	0	37,2	58,7
10.7.	R_0, R_1	20,6	0	14,9	29,6
	R_2		25 x	62,6	91,6
13.7.	R_2	18,8	4,4	52,6	80,4
19.7.	R_0, R_1	17,8	39,5	28,4	32,0
	R_2			56,6	85,2
25.7.	R_0, R_1	14,0	23,2	37,0	52,1
	R_2			48,3	78,7
1.8.	R_0	21,4	14,3	33,4	48,5
	R_1			39,6	53,8
	R_2			46,5	75,4
8.8.	R_0	15,6	13,7	22,5	38,3
	R_1			38,4	54,9
	R_2			42,4	64,6

Fortsetzung Tabelle 14

1	2	3	4	5	6
10.8.	R ₂	19,6	0	36,8	58,3
11.8.	R ₂	22,3	25 x	62,1	92,0
14.8.	R ₀	20,5	0	15,6	28,6
	R ₁			29,6	47,9
	R ₂			40,1	69,8
15.8.	R ₂	20,7	0	63,0	92,4
20.8.	R ₀	20,7	10,3	18,7	30,2
	R ₁			55,3	80,2
22.8.	R ₂	17,9	0,3	46,9	76,6
27.8.	R ₀	21,2	0	14,8	27,5
	R ₁			43,4	67,1
	R ₂			37,2	63,6
28.8.	R ₂	21,7	25 x	62,9	90,3
30.8.	R ₀	18,1	13,3	18,8	32,1
	R ₁			47,5	68,5
	R ₂			53,7	77,5
4.9.	R ₀	20,4	1,4	15,2	27,4
	R ₁			39,2	60,6
	R ₂			38,9	67,1
6.9.	R ₂	22,3	25 x	64,5	92,4
10.9.	R ₂	14,5	0	50,4	76,8
11.9.	R ₀	11,5	0	14,6	27,2
	R ₁			32,3	55,3
14.9.	R ₂	12,1	0	42,8	66,5
17.9.	R ₀	17,3	3,9	15,3	27,5
18.9.	R ₁	17,1	0	31,6	54,9
	R ₂			33,8	58,6
19.9.	R ₂	15,8	25 x	60,8	89,6
24.9.	R ₀	8,9	26,9	29,0	40,9
	R ₁			39,0	62,7
	R ₂			54,6	82,5

Fortsetzung Tabelle 14

1	2	3	4	5	6
26. 9.	R_1	10,4	4,6	41,3	63,2
29. 9.	R_0	11,3	3,7	28,7	39,2
	R_1			38,5	59,7
1.10.	R_2	11,5	0,1	50,4	76,3
3.10.	R_0	14,5	0	24,5	33,7
	R_1			33,5	57,1
4.10.	R_2	12,4	0	46,4	74,3
10.10.	R_0	12,1	10,9	23,1	32,6
	R_1			31,9	56,2
	R_2			45,0	73,8

R_0 = unberechnet

R_1 = automatisch berechnet

R_2 = berechnet bei 50 % nutzbarer Feldkapazität

Tabelle 15: Bodenfeuchtigkeit bei Zuckerrüben auf humosem Lehm
(Feld im Kollenbruch) im Laufe der Vegetation 1973
(Angaben in mm)

Datum	Variante	mittlere Tages- Temp. °C	NS/mm x = bereg- net	0 - 40 mm	0 - 60 mm
1	2	3	4	5	6
26.4.	R ₀	13,4	0	92,8	125,1
3.5.	R ₀	15,5	19,4	97,8	126,7
9.5.	R ₀	14,2	18,9	103,8	138,5
16.5.	R ₀	11,6	1,5	93,0	120,2
22.5.	R ₀	16,5	14,5	102,7	139,3
24.5.	R ₀	14,8	8,0	104,5	141,8
28.5.	R ₀	11,9	0	93,8	130,7
4.6.	R ₀	18,0	4,3	93,6	128,5
7.6.	R ₀	18,1	5,2	92,0	126,9
11.6.	R ₀	17,6	0,7	90,5	125,2
14.6.	R ₀	15,3	2,8	87,4	120,3
18.6.	R ₀	19,8	0	78,1	110,4
19.6.	R ₂	20,2	25 x	102,5	139,1
21.6.	R ₁	15,9	19 x	97,9	134,3
22.6.	R ₀	19,0	0	74,3	102,6
25.6.	R ₁	19,8	12,8	83,0	112,0
28.6.	R ₀	21,4	1,7	62,9	90,7
	R ₁			68,9	97,5
	R ₂			79,6	114,8
2.7.	R ₁	24,4	0,2	58,6	84,2
3.7.	R ₂	24,6	0	73,4	106,7
4.7.	R ₀	25,5	0	55,6	77,4
	R ₂		25 x	103,6	133,2
5.7.	R ₁	25,4	24 x	85,4	113,1
9.7.	R ₁	20,7	0	57,1	80,3
	R ₂			73,5	101,1

Fortsetzung Tabelle 15

1	2	3	4	5	6
11.7.	R ₀	19,1	0,7	50,2	68,8
12.7.	R ₁	18,5	20 x	73,2	95,9
	R ₂		35 x	107,2	142,8
16.7.	R ₁	20,8	17,8	72,4	93,2
18.7.	R ₀	17,9	22,1	69,2	89,6
	R ₂			102,8	139,0
19.7.	R ₁	17,8	26 x	96,9	118,2
23.7.	R ₁	14,0	22,0	97,9	119,7
25.7.	R ₀	14,4	5,5	73,8	97,6
	R ₂			92,9	119,3
26.7.	R ₁	15,3	2,7	96,3	118,6
30.7.	R ₁	19,4	10,7	97,1	120,3
1.8.	R ₀	21,4	0	70,0	88,4
	R ₂			85,0	113,2
2.8.	R ₁	19,8	0	87,9	111,5
6.8.	R ₁	21,0	1,6	71,9	94,8
8.8.	R ₀	15,6	12,1	65,1	84,2
	R ₂			86,6	113,8
9.8.	R ₁	17,2	0	69,5	91,4
13.8.	R ₁	23,0	0	55,6	76,7
	R ₂			71,6	94,3
14.8.	R ₀	20,5	0	51,4	68,2
	R ₂		25 x	105,6	133,8
16.8.	R ₁	21,6	42 x	95,9	124,1
20.8.	R ₁	20,7	10,3	101,1	134,6
22.8.	R ₀	17,9	0,3	60,7	78,3
	R ₂			89,4	118,0
23.8.	R ₁	18,4	0	92,4	123,7
27.8.	R ₁	21,2	0	77,9	103,6
	R ₂			73,9	99,8

Fortsetzung Tabelle 15

1	2	3	4	5	6
28. 8.	R ₀	21,7	0	49,9	65,2
	R ₂		25 x	105,4	134,0
30. 8.	R ₁	18,1	24 x	99,5	125,7
3. 9.	R ₁	21,4	1,4	89,8	116,7
	R ₂			84,2	109,8
5. 9.	R ₀	21,6	0	49,1	64,3
	R ₂		25 x	109,0	145,4
6. 9.	R ₁	22,3	0	76,1	100,4
10. 9.	R ₁	14,5	0	62,0	84,6
	R ₂			101,2	129,7
13. 9.	R ₁	11,9	34 x	93,1	117,9
17. 9.	R ₁	17,3	3,9	90,8	115,9
18. 9.	R ₀	17,1	0	49,1	63,8
	R ₂			82,8	107,3
20. 9.	R ₁	14,0	19,7	83,8	107,5
24. 9.	R ₀	8,9	9,2	68,7	82,8
	R ₁			103,4	130,0
	R ₂			93,0	118,2
27. 9.	R ₁	12,5	0	98,5	124,4
1.10.	R ₀	11,5	3,8	70,2	86,7
	R ₁			97,1	124,0
4.10.	R ₀	12,4	0	68,5	83,4
	R ₁			86,7	111,6
	R ₂			88,6	115,3
8.10.	R ₀	11,6	10,7	73,4	87,7
	R ₁			92,8	119,4
	R ₂			90,5	117,6

R₀ = unberechnet

R₁ = berechnet nach Wetteramt Offenbach

R₂ = berechnet bei 60 % nutzbarer Feldkapazität

Tabelle 16: Wasserbilanz des Bodens im Laufe der Vegetation (0-60 cm) bei Zuckerrüben auf Sandboden (Feld 4)
1973 (Angaben in mm)

R_0 = unberechnet

Untersuchungstermine	27.4.	3.5.	9.5.	15.5.	22.5.	24.5.	28.5.	31.5.	4.6.	7.6.	11.6.	14.6.	19.6.	25.6.
Bodenfeuchte W {0-60cm}	70,9	86,4	86,9	81,9	93,7	96,0	90,3	94,6	92,3	91,9	81,5	78,0	62,5	63,0
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	-15,5	-0,5	5,0	-11,8	-2,3	6,3	-3,3	2,3	0,4	10,4	3,5	16,5	-0,5	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	19,4	18,6	1,8	14,5	8,0	-	6,8	4,3	5,2	0,7	2,8	0,1	12,8	
Wasserverbrauch WV	3,9	18,1	6,8	2,7	5,7	6,3	3,5	6,6	5,6	11,1	6,3	16,6	12,3	
Wasserverbrauch/Tag	0,7	3,0	1,1	0,8	2,9	1,6	1,2	1,7	1,9	2,8	2,1	3,3	2,1	

R_1 = berechnet nach Wetteramt

Untersuchungstermine	22.5.	24.5.	28.5.	31.5.	4.6.	7.6.	11.6.	14.6.	18.6.	21.6.	25.6.	28.6.	2.7.	5.7.	9.7.
Bodenfeuchte W {0-60cm}	93,7	96,0	90,3	94,6	92,3	91,9	81,5	78,0	95,6	80,7	30,6	68,5	59,9	83,0	61,3
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	-2,3	6,3	-3,3	2,3	0,4	10,4	3,5	-17,6	14,9	0,1	12,1	8,6	-23,1	21,7	12,8
Natürl. Regen zw. 2 Term.	8,0	-	6,8	4,3	5,2	0,7	2,8	0,1	-	12,8	1,7	0,2	-	-	-
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	-	-	-	-	-	-	18,1	-	-	-	-	24	-	-
Gesamtniederschlag N	5,7	6,3	6,8	4,3	5,2	0,7	2,8	18,1	-	12,8	1,7	0,2	24	-	-
Wasserverbrauch WV	5,7	6,3	3,5	6,6	5,6	11,1	6,3	0,5	14,9	12,9	13,8	8,8	0,9	21,7	
Wasserverbrauch/Tag	2,9	1,6	1,2	1,7	1,9	2,8	2,1	0,1	5,0	3,2	4,6	2,2	0,3	5,4	

Fortsetzung Tabelle 16

$\underline{R}_0$ = unberechnet

Untersuchungstermine	25.6.	2.7.	9.7.	16.7.	19.7.	25.7.	1.8.	8.8.	15.8.	20.8.	28.8.	30.8.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	63,0	52,5	43,7	48,3	61,7	67,2	61,7	47,7	37,8	44,0	37,3	46,2
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	10,5	8,8	-4,6	-13,4	-5,5	5,5	14,0	9,9	-6,2	6,7	-8,9	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	1,9	-	18,5	25,4	24,2	14,3	13,7	-	10,3	0,3	13,3	
Wasserverbrauch WV	12,4	8,8	13,9	12,0	18,7	19,8	27,7	9,9	4,1	7,0	4,4	
Wasserverbrauch/Tag	1,8	1,2	2,0	4,0	3,1	2,8	3,9	1,3	0,8	0,9	2,2	

$\underline{R}_1$ = berechnet nach Wetteramt

Untersuchungstermine	9.7.	12.7.	16.7.	19.7.	23.7.	26.7.	30.7.	2.8.	6.8.	9.8.	13.8.	16.8.	20.8.
Bodenfeuchte $\bar{W}$ (0-60cm)	61,3	77,8	77,1	84,1	88,2	92,6	82,8	71,0	60,0	63,2	49,9	88,8	83,1
Differenz zwischen 2 Terminen ($\bar{W}_1 - \bar{W}_2$)	-16,5	0,7	-7,0	-4,1	-4,3	9,8	11,8	11,0	-3,2	13,3	38,9	5,7	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	4,4	14,1	25,4	18,7	8,2	11,6	-	1,6	12,1	-	-	10,3	
Künstl. Regen zw. 2 Term.	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	-	
Gesamtniederschlag N	23,4	14,1	25,4	18,7	8,2	11,6	-	1,6	12,1	-	36	10,3	
Wasserverbrauch WV	6,9	14,8	18,4	14,6	3,9	21,4	11,8	12,6	8,9	13,3	-	16,0	
Wasserverbrauch/Tag	2,3	3,7	6,1	3,7	1,3	5,4	3,9	3,2	3,0	3,3	-	4,0	

Fortsetzung Tabelle 16

R_0 = unberechnet

Untersuchungstermine 30.8. 4.9. 11.9. 17.9. 24.9. 28.9. 2.10. 9.10.

Bodenfeuchte W {0-60cm}	46,2	38,3	36,8	36,7	58,7	54,3	52,6	51,1
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	7,8	1,4	0,1	-22,0	4,4	1,7	1,5	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	-	-	3,9	28,9	3,2	0,5	10,9	
Wasserverbrauch WV	7,8	1,4	4,0	6,9	7,6	2,2	12,4	
Wasserverbrauch/Tag	1,6	0,2	0,7	1,0	1,9	0,6	1,8	

R_1 = berechnet nach Wetteramt

Untersuchungstermine	20.8.	23.8.	27.8.	30.8.	3.9.	6.9.	10.9.	13.9.	17.9.	20.9.	24.9.	27.9.	1.10.	4.10.	8.10.
Bodenfeuchte W {0-60cm}	83,1	74,6	58,0	82,4	73,3	64,9	54,9	84,3	78,2	70,9	92,3	88,1	87,5	80,3	85,9
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	8,5	16,6	-24,4	9,1	8,4	10,0	-29,4	6,1	7,3	-21,4	4,2	0,6	7,2	-5,6	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	0,3	-	13,3	1,4	-	-	-	-	3,9	-	28,9	-	3,7	-	10,7
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	-	24	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-
Gesamtniederschlag N	0,3	-	37,3	1,4	-	-	-	30	3,9	-	28,9	-	3,7	-	10,7
Wasserverbrauch WV	8,8	16,6	12,9	10,5	8,4	10,0	0,6	10,0	7,3	7,5	4,2	4,3	7,2	5,1	
Wasserverbrauch/Tag	2,9	4,2	4,3	2,6	2,8	2,5	0,2	2,5	2,4	1,9	1,4	1,1	1,8	1,3	

Fortsetzung Tabelle 16

R_2 = berechnet bei 50 % nFK

Untersuchungstermine	27.4.	28.4.	3.5.	9.5.	15.5.	22.5.	28.5.	2.6.	4.6.	6.6.	11.6.	14.6.	17.6.	19.6.	22.6.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	70,9	96,0	91,2	95,6	87,7	98,1	93,4	90,7	77,3	98,2	91,1	79,1	73,2	102,7	86,2
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	-25,1	4,8	-4,4	7,9	-10,4	4,7	2,7	13,4	-20,9	7,1	12,0	5,9	-29,5	16,5	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	-	19,4	18,6	1,8	14,5	8,0	11,1	-	-	5,9	2,8	-	0,1	-	
Künstl. Regen zw. 2 Term.	30	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	30	-	
Gesamtniederschlag N	30	19,4	18,6	1,8	14,5	8,0	11,1	-	30	5,9	2,8	-	30,1	-	
Wasserverbrauch WV	4,9	24,2	13,2	9,7	4,1	12,7	13,9	13,4	9,1	13,0	14,8	5,9	0,6	16,5	
Wasserverbrauch/Tag	4,9	4,8	2,2	1,6	0,7	2,1	2,7	6,7	4,6	2,2	4,9	2,0	0,2	5,5	

R_3 = berechnet nach Irrrometer

Untersuchungstermine	27.4.	3.5.	9.5.	15.5.	22.5.	24.5.	28.5.	31.5.	4.6.	7.6.	11.6.	14.6.	17.6.	21.6.	25.6.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	70,9	86,4	86,9	81,9	93,7	96,0	90,3	94,6	92,3	91,9	81,5	78,0	110,7	102,8	87,8
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	-15,5	-0,5	5,0	-11,8	-2,3	6,3	-3,3	2,3	0,4	10,4	3,5	-32,7	7,9	15,0	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	19,4	18,6	1,8	14,5	8,0	-	6,8	4,3	5,2	0,7	2,8	-	0,1	12,8	
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-	
Gesamtniederschlag N	19,4	18,6	1,8	14,5	8,0	-	6,8	4,3	5,2	0,7	2,8	35	0,1	12,8	
Wasserverbrauch WV	3,9	18,1	6,8	2,7	5,7	6,3	3,5	6,6	5,6	11,1	6,3	2,3	8,0	27,8	
Wasserverbrauch/Tag	0,7	3,0	1,1	0,8	2,9	1,6	1,2	1,7	1,9	2,8	2,1	0,8	2,0	7,0	

Fortsetzung Tabelle 16

R_2 = berechnet bei 50 % nFK

Untersuchungstermine	22.6.	25.6.	26.6.	29.6.	2.7.	3.7.	6.7.	7.7.	9.7.	11.7.	12.7.	19.7.	25.7.	1.8.	6.8.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	86,2	73,5	101,5	82,2	75,5	104,8	76,9	106,5	85,5	77,1	107,5	89,7	88,1	89,3	77,3
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	12,7	-28,0	19,3	6,7	-29,3	27,9	-29,6	21,0	8,4	-30,4	17,8	1,6	-1,2	12,0	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	12,8	-	1,9	-	-	-	-	-	0,7	3,7	39,5	24,2	14,3	1,6	
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	30	-	-	30	-	30	-	-	30	-	-	-	-	
Gesamtniederschlag N	12,8	30	1,9	-	30	-	30	-	0,7	33,7	39,5	24,2	14,3	1,6	
Wasserverbrauch WV	25,5	2,0	21,2	6,7	0,7	27,9	0,4	21,0	9,1	3,3	57,3	25,6	13,1	13,6	
Wasserverbrauch/Tag	8,5	2,0	7,1	2,2	0,7	9,3	0,4	10,5	4,6	3,3	8,2	4,4	1,9	2,7	

R_3 = berechnet nach Irrrometer

Untersuchungstermine	25.6.	28.6.	2.7.	3.7.	7.7.	10.7.	12.7.	19.7.	25.7.	1.8.	8.8.	14.8.	15.8.	20.8.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	87,8	72,9	66,8	99,7	90,6	66,1	100,1	86,3	93,9	100,2	98,6	72,3	103,3	87,4
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	14,9	8,1	-32,9	9,1	24,5	-34,0	13,8	-7,6	-6,3	1,6	26,3	-31,0	15,9	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	1,7	0,2	-	-	-	4,4	39,5	24,2	14,3	13,7	-	-	10,3	
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	-	35	-	-	35	-	-	-	-	-	35	-	
Gesamtniederschlag N	1,7	0,2	35	-	-	39,4	39,5	24,2	14,3	13,7	-	35	10,3	
Wasserverbrauch WV	16,6	6,3	2,1	9,1	24,5	5,4	53,3	16,6	8,0	15,3	26,3	4,0	26,2	
Wasserverbrauch/Tag	5,5	1,3	2,1	2,3	8,2	2,7	7,6	2,8	1,3	2,2	4,4	4,0	5,2	

Fortsetzung Tabelle 16

R_2 = berechnet bei 50 % nFK

Untersuchungstermine 6.8. 8.8. 10.8. 11.8. 13.8. 15.8. 16.8. 22.8. 27.8. 28.8. 30.8.

Bodenfeuchte W (0-60cm)	77,3	81,2	74,6	103,1	87,4	74,1	103,8	83,1	70,9	100,7	90,1
Differenz zwischen 2											
Termine ($W_1 - W_2$)	-3,9	6,6	-28,5	15,7	13,3	-29,7	20,7	12,2	29,8	10,6	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	12,2	-	-	-	-	-	10,6	-	-	13,3	
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	-	30	-	-	30	-	-	30	-	
Gesamtniederschlag N	12,2	-	30	-	-	30	10,6	-	30	13,3	
Wasserverbrauch WV	8,3	6,6	1,5	15,7	13,3	0,3	31,3	12,2	0,2	23,9	
Wasserverbrauch/Tag	4,2	3,3	1,5	7,9	6,7	0,3	6,3	2,4	0,2	11,6	

R_3 = berechnet nach Irrometer

Untersuchungstermine 20.8. 22.8. 27.8. 28.8. 4.9. 11.9. 13.9. 20.9. 27.9. 1.10. 4.10. 9.10.

Bodenfeuchte W (0-60cm)	87,4	78,7	65,1	99,4	87,6	73,5	105,5	83,2	86,3	85,6	80,9	80,1
Differenz zwischen 2												
Termine ($W_1 - W_2$)	8,7	13,6	-34,3	11,8	14,1	-32,0	22,3	-2,9	0,7	4,7	0,8	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	0,3	-	-	14,7	-	-	23,6	9,2	3,7	-	10,9	
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	-	35	-	-	35	-	-	-	-	-	
Gesamtniederschlag N	0,3	-	35	14,7	-	35	23,6	9,2	3,7	-	10,9	
Wasserverbrauch WV	9,0	13,6	0,7	26,5	14,1	3,0	55,9	6,3	4,4	4,7	11,7	
Wasserverbrauch/Tag	4,5	2,7	0,7	3,5	2,0	3,0	8,0	0,9	1,1	1,6	2,0	

Fortsetzung Tabelle 16

R_2 = berechnet bei 50 % nFK

Untersuchungstermine	30.8.	4.9.	6.9.	10.9.	13.9.	18.9.	19.9.	24.9.	1.10.	4.10.	9.10.
Bodenfeuchte W (0-60cm)	90,1	72,7	101,5	93,2	82,2	71,1	100,3	107,2	92,7	88,5	87,4
Differenz zwischen 2 Terminen ($W_1 - W_2$)	17,4	-28,8	8,3	11,0	11,1	-29,2	-6,9	14,5	4,2	1,1	
Natürl. Regen zw. 2 Term.	1,4	-	-	-	3,9	-	28,9	3,7	-	10,9	
Künstl. Regen zw. 2 Term.	-	30	-	-	-	30	-	-	-	-	
Gesamtniederschlag N	1,4	30	-	-	3,9	30	28,9	3,7	-	10,9	
Wasserverbrauch WV	18,8	1,2	8,3	11,0	15,0	0,8	22,0	18,2	4,2	12,0	
Wasserverbrauch/Tag	3,8	0,6	2,1	3,7	3,0	0,8	4,4	2,9	1,4	2,4	

Tabelle 18: Saugspannung und Transpiration (Indipa-Methode) bei
Zuckerrüben auf Sandboden (Feld 4) im Laufe der Vegetation
1973

Datum	Variante	T/°C	NS/mm x = berechnet	Luft- feuchte %	Saugspan- nung atm	Transpi- ration ₂ mg/cm ²
1	2	3	4	5	6	7
14.6.	R ₀	21,3	0,2	37	13,44	
	R ₂				12,06	
16.6.	R ₀	22,6	0	49	13,83	
	R ₂				12,16	
	R ₃				12,81	
18.6.	R ₀	23,5	0	46	14,20	
	R ₂				12,48	
	R ₃		35	x	8,52	
19.6.	R ₀	26,0	0	35	14,75	
	R ₂		30	x	8,42	
26.6.	R ₀	28,4	0	35	11,85	0,050
	R ₂				10,27	0,060
	R ₃				10,36	
27.6.	R ₀	31,6	0	33	13,99	0,043
	R ₂		30	x	7,94	0,091
2.7.	R ₀	31,8	0	32	15,64	0,027
	R ₂				11,43	0,060
	R ₃				13,52	
3.7.	R ₀	32,3	0	31	17,2	0,016
	R ₂		30	x	8,13	0,086
	R ₃		35	x	7,94	
5.7.	R ₀	31,6	0	31	18,25	0,010
	R ₂				11,32	0,044
6.7.	R ₀	28,2	0	43	18,32	0,008
	R ₂		30	x	8,23	0,082
11.7.	R ₀	26,7	0	32	18,73	0,006
	R ₂				10,25	0,049
	R ₃				11,22	

Fortsetzung Tabelle 18

1	2	3	4	5	6	7
12.7.	R ₀	23,2	0	43	17,44	
	R ₂		30 x		7,94	
	R ₃		35 x		7,86	
17.7.	R ₀	22,8	10,1	39	13,55	0,042
	R ₂				8,23	0,079
	R ₃				8,03	
25.7.	R ₀	21	40,7	38	11,01	
	R ₂				8,03	
	R ₃				7,94	
31.7.	R ₀	27,5	10,3	37	11,64	0,058
	R ₂				8,81	0,089
	R ₃				8,61	
6.8.	R ₀	31	1,6	32	13,77	0,031
	R ₂				11,01	0,065
9.8.	R ₀	24,7	12,1	33	14,53	0,023
	R ₂				12,27	0,038
	R ₃				9,35	
11.8.	R ₀	27,6	0	30	15,72	0,021
	R ₂		30 x		7,94	0,079
	R ₃				10,25	
13.8.	R ₀	29,5	0	27	16,94	
	R ₂				9,61	
	R ₃				11,74	
14.8.	R ₀	28,0	0	29	18,13	
	R ₂				11,32	
	R ₃				12,35	
15.8.	R ₀	28,9	0	28	18,25	0,007
	R ₂				11,95	0,035
	R ₃		35 x		9,08	
16.8.	R ₀	29,5	0	31	18,54	0,006
	R ₂		30 x		9,47	0,071

Fortsetzung Tabelle 18

1	2	3	4	5	6	7
22.8.	R ₀	23	10,6	33	14,53	0,013
	R ₂				10,69	0,069
27.8.	R ₀	26,3	0	36	17,73	0,009
	R ₂				11,95	0,042
	R ₃				13,22	
28.8.	R ₀	26,3	0	61	18,99	0,006
	R ₂		30 x		9,35	0,074
	R ₃		40 x		9,77	
4.9.	R ₀	31,2	14,7	33	18,45	0,007
	R ₂				11,01	0,035
	R ₃				10,07	
6.9.	R ₀	27,5	0	35	18,67	0,006
	R ₂		30 x		8,61	0,081
12.9.	R ₀	28,6	0	34	18,73	
	R ₂				10,07	
	R ₃				12,17	
13.9.	R ₀	25,1	0	37	18,91	
	R ₂				10,38	
	R ₃		35 x		8,32	
17.9.	R ₀	22,5	3,9	57	17,18	0,013
	R ₂				11,64	0,040
19.9.	R ₀	23,7	0	46	15,87	0,027
	R ₂		30 x		9,06	0,083
25.9.	R ₀	22,6	28,9	73	11,95	
	R ₂				8,26	
	R ₃				8,61	

R₀ = unberechnet

R₁ = berechnet nach Wetteramt Offenbach

R₂ = berechnet bei 50 % nutzbarer Feldkapazität

R₃ = berechnet nach Irrrometerwerten

Luftfeuchte % = relative Luftfeuchtigkeit in % zur Zeit der Untersuchung

LEBENS LAUF

Am 29. Oktober 1941 wurde ich als Sohn des Beamten Seid-Ali Bozorgzadeh und seiner Ehefrau Thalati in Babal/Iran geboren.

1948 - 1954	Besuch der Volksschule in Babal
1954 - 1959	Besuch des Gymnasiums
1960	Abitur (Naturwissenschaftlicher Zweig) in Teheran
1963	Wehrpflicht in Teheran
1965	Ankunft in Deutschland
1966	Besuch des Studienkollegs in Darmstadt
1967	Immatrikulation an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Justus Liebig-Universität Gießen
1972	Im Februar Diplomprüfung
1972	Ab März Doktorand am Institut für Pflanzen- bau und Pflanzenzüchtung der Justus Liebig- Universität Gießen

Zum Abschluß dieser Arbeit möchte ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. E. v. Boguslawski für die Überlassung des Themas und für seine ständige Hilfsbereitschaft, die wertvollen Anregungen und die Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Ferner danke ich den Angehörigen des Versuchsfeldes Groß-Gerau für ihre freundliche Hilfe.

